

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені Ігоря Сікорського”

В. І. Солодкий, О. А. Плівак

ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

*Затверджено методичною радою
КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за спеціальністю 131 “Прикладна механіка”*

КПІ ім. Ігоря Сікорського
Київ – 2020

Рецензенти: Антонюк В. С, – д-р техн. наук, Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського.

Петраков Ю. В. – д-р техн. наук, Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського.

Відповідальний Охріменко О. А. – д-р техн. наук, Київський
редактор політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол №2 від 01.10.2020 р)*

Електронне мережне навчальне видання

*Солодкий Валерій Іванович, канд. техн. наук, доц.
Плівак Олександр Анатолійович, інж.*

ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Основи проектування різального інструмента [Електронний ресурс] : посібник для студентів технічних спеціальностей / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Електронні текстові дані (1 файл 6,2 Мбайт). — Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 220 с.

Розглянуто основи конструювання металорізального інструмента загального призначення та інструментальні матеріали, які застосовуються в сучасному виробництві різального інструмента. Значну увагу приділено організації процесу проектування, формулюванню технічних вимог та поетапному конструюванню інструмента. Подано відомості, щодо призначення геометричних та конструктивних параметрів інструмента. Розглянуті тенденції інструментального виробництва. Посібник може бути корисним студентам та викладачам під час проведення навчальних занять.

Для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів та фахівців спеціальності 131 – “Прикладна механіка”.

© В. І. Солодкий, О. А. Плівак

© КПІ ім. Ігоря Сікорського (ММІ), 2020

ДО МАЙБУТНЬОГО БАКАЛАВРА

Існує багато методик проектування конкретного різального інструмента. Кожна з них детально розглядає послідовність необхідних розрахунків. Але є принципи проектування загальні для всіх інструментів. Саме загальні принципи проектування і розглянуті в даному посібнику.

Пропонована праця не містить формул для розрахунків. Її задача – подати загальні принципи та головні напрями розроблення сучасного різального інструмента.

Зміст

ВСТУП	13
1 ІСТОРІЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА	16
1.1 Ера кам'яних знарядь	16
1.2 Ера металів	16
1.2.1 Машинне виробництво	17
1.2.2 До сучасності	19
1.2.3 Зуборізний інструмент	21
1.3 Автоматизація виробництва	22
1.3.1 Комп'ютеризація виробництва	23
1.3.2 Наскрізне комп'ютерне проектування	27
1.3.3 Комп'ютеризація інструментів	30
Питання для самоконтролю	33
2 ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ	34
2.1 Властивості	34
2.1.1 Міцність	36
2.1.2 Зносостійкість	37
2.1.3 Теплостійкість	40
2.2 Матеріали	40
2.2.1 Інструментальні сталі	40
2.2.2 Тверді сплави	44
2.2.3 Мінералокераміка	46
2.2.4 Надтверді матеріали	48
2.3 Термічне оброблення інструментальних сталей	49
2.3.1 Нетеплостійкі сталі	49
2.3.2 Напівтеплостійкі сталі	51
2.3.3 Теплостійкі сталі	51
2.4 Кріплення інструментального матеріалу	51
Питання для самоконтролю	59
3 ПРОЕКТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ	60
3.1 Мета, завдання і методи проектування	60
3.2 Технічні вимоги до інструмента	61
3.2.1 Токарна група	63
3.2.2 Свердлувальна група	64
3.2.3 Фрезерна група	66
3.2.4 Допоміжний інструмент	66
3.3 Структурна схема інструмента	68

3.4	Послідовність проектування інструмента	71
3.4.1	Підготовчі дії	72
3.4.2	Технічне завдання на проектування	72
3.4.3	Проектування робочої частини	73
3.4.4	Проектування приєднувальної частини	75
3.4.5	Проектування напрямної частини	76
3.4.6	Узагальнення	80
	Питання для самоконтролю	82
4	ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТА	83
4.1	Стандартна конструкція	84
4.1.1	Доопрацювання	84
4.2	Оригінальна конструкція	85
4.3	Оптимізація	85
4.3.1	Патентні дослідження	86
4.3.2	Оптимізації інструмента	87
4.3.3	Оптимізація різальної здатності	89
	Питання для самоконтролю	90
5	РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ УМОВ	91
5.1	Твердість	91
5.2	Точність	92
5.3	Шорсткість	94
5.4	Випробування	96
5.5	Маркування	96
	Питання для самоконтролю	97
6	СХЕМИ РІЗАННЯ	98
6.1	Профільна схема різання	99
6.2	Генераторна схема різання	100
6.3	Групової схеми різання	102
6.4	Комбінована схема різання	102
	Питання для самоконтролю	106
7	ПРИЄДНАННЯ ІНСТРУМЕНТА	107
7.1	Стандартні хвостовики	107
7.2	Плаваючі патрони	110
7.3	Швидкозмінні хвостовики	111
7.4	Регульований інструмент	112
7.4.1	Гвинт-гайка	113
7.4.2	Мікробор	114

7.4.3	Борштанги	114
	Питання для самоконтролю	116
8	НАПРАВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТА	117
8.1	Необхідність направлення інструмента	117
8.2	Способи направлення інструмента	117
8.3	Матеріал напрямної частини	120
8.4	Місце напрямних частин	120
8.5	Конструкція напрямної	122
	Питання для самоконтролю	123
9	ПРОЕКТУВАННЯ ЗБІРНОГО ІНСТРУМЕНТА	124
9.1	Підготовчий етап проектування	124
9.2	Основний етап проектування	124
9.2.1	Концептуальне проектування	124
9.2.2	Геометрична модель	126
9.2.3	Інженерний аналіз	129
9.2.4	Технологічне проектування	131
9.2.5	Імітація оброблення	131
9.2.6	Розробка технології виготовлення	132
9.3	Конструкторська документація	134
	Питання для самоконтролю	135
10	ІНСТРУМЕНТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА	136
10.1	Проектування інструментів	136
10.2	Модульна система інструмента	140
10.3	Проектування допоміжних інструментів	142
10.4	Кодування інструментів	147
	Питання для самоконтролю	148
11	ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ІНСТРУМЕНТА	149
11.1	Кінематичні характеристики різання	149
11.2	Елементи інструмента	152
11.2.1	Координатні площини	153
11.2.2	Статичні кути	158
11.2.3	Кінематичні кути	164
11.3	Передні та задні кути	167
11.3.1	Передній кут	168
11.3.2	Задній кут	169
11.3.3	Узагальнення	171
11.4	Кути в плані	172

11.5	Кут нахилу різальної кромки	175
11.6	Перехідні різальні кромки	179
	Питання для самоконтролю	182
12	ДОПУСКИ ВИГОТОВЛЕННЯ	183
12.1	Токарні різці	183
12.2	Свердла	184
12.2.1	Швидкорізальні	184
12.2.2	Твердосплавні	185
12.3	Зенкери	186
12.4	Розвертки	187
12.5	Фрези гострозаточені	188
12.5.1	Фрези циліндричні	188
12.5.2	Фрези дискові із вставними ножами	188
12.5.3	Фрези концеві	189
12.5.4	Фрези торцеві	189
12.6	Фрези затиловані	190
12.7	Мітчики	191
12.8	Плашки	192
	Питання для самоконтролю	193
13	ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІНСТРУМЕНТА	194
13.1	Інструментальні матеріали	194
13.1.1	Швидкорізальні сталі	196
13.1.2	Тверді сплави	197
13.1.3	Різальна кераміка	201
13.1.4	Надтверді матеріали	203
13.1.5	Абразиви	206
13.2	Інноваційний напрям	207
13.3	Вдосконалення інструмента	210
13.4	Проектування інструмента	214
	Питання для самоконтролю	218
	Список літератури	219

Перелік ілюстрацій

1.1	Кам'яний скребок	16
1.2	Кам'яна сокира	16
1.3	Видобування вогню	17
1.4	Бойова сокира	17
1.5	Перші сталеві свердла	17
1.6	Перші сталеві токарні різці	17
1.7	Токарний верстат у Московії	18
1.8	Ножний токарний верстат (<i>Європа 18 ст.</i>)	18
1.9	Нартов та його верстат	18
1.10	Генрі Модслі	19
1.11	Верстат Г. Модслі 1797 р.	19
1.12	Токарь часів Модслі	19
1.13	Фрезерувальний верстат	20
1.14	Свердлувальний верстат	20
1.15	Свердло спіральне	20
1.16	Патент Морзе на свердло	20
1.17	Фреза дискова фасонна	21
1.18	Лите зубчате колесо	21
1.19	Виготовлення конічного зубчатого колеса	22
1.20	Зуборізний довбач	22
1.21	Фреза черв'ячна зуборізна	22
1.22	Обчислювальний зал казначейства США 1920 рр.	24
1.23	Твердотільна модель	28
1.24	Поверхнева модель	29
1.25	Каркасна модель	29
2.1	Охолодження	35
2.2	Ручна ножівка	39
2.3	Гнізда під різальну пластину:	52
2.4	Напаяні або клеєні пластини:	54
2.5	Кріплення різальних елементів фрезерної групи	55
2.6	Кріплення багатограних пластин	56
2.7	Кріплення надтвердих інструментальних матеріалів: ..	57
3.1	Вимоги до інструмента	62
3.2	Конструктивні елементи різальних пластин	64
3.3	Звичайне спіральне свердло	64
3.4	Свердло для верстатів з ЧПК	64
3.5	Свердло із змінною пластиною	65
3.6	Звичайні розвертки	65

3.7	Розвертка для верстатів з ЧПК	65
3.8	Розточувальна головка	65
3.9	Фрези для верстатів з ЧПК	66
3.10	Допоміжні змінні модулі	68
3.11	Схема проектування інструмента	70
3.12	Послідовність проектування	74
3.13	Проектування приєднувальної частини	75
3.14	Проектування прямої частини	78
3.15	Втулки кондукторні	79
6.1	Схема різання	98
6.2	Протяжка	99
6.3	Схема протягування	99
6.4	Профільна схема різання	100
6.5	Генераторна схема різання	101
6.6	Фрезерування зубчатого колеса черв'ячною фрезою... ..	101
6.8	Комбінована схема різання	102
6.7	Групована схема різання	103
6.9	Розділення стружки	105
7.1	З'єднання конусом Морзе:	107
7.2	З'єднання шпонковою оправкою:	109
7.3	Квадратні хвостики	110
7.4	Плаваючий патрон:	110
7.5	Патрон кочення та сильфонний:	111
7.6	Штифтовий хвостовик	112
7.7	Гвинт регулювання:	113
7.8	Перехідна втулка для регулювання вильоту мітчика: ..	113
7.9	Настроювання фрези поза верстатом	113
7.10	Скоба для настроювання довжини інструмента	113
7.11	Мікробор	114
7.12	Борштанга	114
8.1	Кондукторна втулка:	118
8.2	Направлення зенкерів	118
8.3	Напрямна зенкеру	118
8.4	Направлення мітчиків	119
8.5	Напрямні розвертки:	119
8.6	Подвійні напрямні:	119
8.7	Розташування напрямних:	120
8.8	Змінний зенкер на оправці	121
8.9	Змінний зенкер	121
9.1	Проектування кріплення пластини	125

9.2	Схеми кріплення різальних пластин	125
9.3	Геометрична модель	128
9.4	Логотип Simatron	128
9.5	Накладний стружколом:	129
9.6	Напружено-деформований стан свердла	130
9.7	Імітація фрезерування корпусу	132
10.1	Передні поверхні змінних різальних елементів	138
10.2	Фрези різного кроку	138
10.3	Швидка зміна різального елемента	139
10.4	Різець з настроюванням на розмір поза верстатом	139
10.5	Модульна система інструментів токарної групи	140
10.6	Картридж (змінна касета):	141
10.7	Різцева вставка:	142
10.8	Вставка Мікробор:	142
10.9	З'єднання різального та допоміжного інструментів: ...	143
10.10	Система MCS-S фірми Hertel	145
10.11	Система MCH-50 фірми Hertel	145
10.12	Система RS фірми Hertel	145
10.13	Тримач корпорації Sandvik Coromant	146
10.14	Різцетримач з циліндричним хвостовиком	146
10.15	Різцетримач з призмою	146
10.16	Кодувальні кільця	147
11.1	Схема стругання	150
11.2	Рухи в процесі різання при обточуванні	150
11.3	Елементи токарного різця	152
11.4	Нормуючі площини та кути різання	154
11.5	Кути нахилу головної різальної кромки:	156
11.6	Різання у статичній системі координат:	159
11.7	Статична система координат токарного різця	160
11.8	Кут нахилу різальної кромки	162
11.9	Нахил різальної кромки	163
11.10	Кінематичні кути токарного різця	164
11.11	Кінематична система координат	165
11.12	Зміна кутів різання	166
11.13	Параметри зносу	169
11.14	Радіус округлення	170
11.15	Токарний прохідний різець	173
11.16	Розвертка	173
11.17	Зенкер	173
11.18	Різець відрізний	173

11.19 Заборний конус мітчика	174
11.20 Зворотна конусність свердла	174
11.21 Фреза дискова	175
11.22 Зміцнення вершини різця	176
11.23 Кут нахилу стружкової канавки	176
11.24 Дискові фрези:	177
11.25 Напрямок сходу стружки	178
11.26 Перехідні різальні кромки	180
11.27 Зачисні різальний кромки	181

Перелік таблиць

2.1	Міцність інструментальних матеріалів	37
2.2	Теплостійкість інструментальних матеріалів	40
3.1	Граничні відхилення розмірів різальних пластин	67
3.2	Оправки з конусом Морзе для свердлильних патронів ..	77
3.3	Втулки перехідні з зовнішнім конусом 7:24	79
5.1	Матеріал та твердість неробочих частин інструмента ..	92
5.2	Економічно доцільний квалітет	93
5.3	Шорсткість залежно від оброблення	95
7.1	Конуси Морзе	108
7.2	Шпонкові оправки	109
9.1	Конструкція схем кріплення	127
11.1	Передні кути при обробленні сталі	168
11.2	Передні кути при обробленні чавуну	168
11.3	Передні кути при обробленні кольорових металів	169
11.4	Рекомендовані величини задніх кутів	170
11.5	Кути нахилу різальних кромок	179
13.1	Використання інструментальних матеріалів	196
13.2	Марки твердого сплаву	199
13.3	Імовірність розвитку інструментів	207
13.4	Характеристика покриттів	211

ВСТУП

Проектування різального інструмента є однією з основних складових підготовки спеціалістів прикладної механіки. Вивчення дисципліни “Основи проектування різального інструмента” має надати майбутнім спеціалістам знань необхідних для проектування сучасних інструментальних систем.

Від якості, надійності та працездатності різальних інструментів, які використовують у машинобудуванні, значною мірою залежить якість оброблених деталей та вузлів¹.

У посібнику викладено теоретичні основи та загальні методологічні принципи проектування сучасного різального інструмента. Основна мета посібника – ознайомити майбутнього спеціаліста з основними принципами та теоретичними засадами проектування різального інструмента, а не наводити матеріал довідкового характеру.

В порівнянні з іншими методами отримання деталей машин обробка різанням забезпечує найбільшу їх точність і найбільшу гнучкість виробничого процесу, створює можливості якнайшвидшого переходу від обробки заготовок одного розміру до обробки заготовок іншого розміру.

Різальний інструмент, зрізаючи порівняно тонкі шари матеріалу, надає заготовці потрібну форму і розміри. Працездатність різального інструмента, його надійність мають істотний вплив на ефективність процесу виробництва.

Потреба в різальному інструменті колосальна. По деяких операціях обробки заготовки різанням, вартість інструмента складає значну частину вартості готової деталі.

Якість і стійкість інструмента, багато в чому, визначають продуктивність і ефективність процесу обробки, а в деяких випадках і взагалі можливість отримання деталей необхідної форми, якості і точності. Підвищення якості і надійності різального інструмента сприяють підвищенню продуктивності обробки металів різанням.

Різальні інструменти з'явилися в доісторичні часи, коли у людини виникла потреба удосконалювати свою роботу. Великий розвиток інструменти набули з часу використання людиною металів.

¹ Не можливо маючи примітивний інструмент, на кшталт кам'яної сокири, виготовити прецизійний верстат, або інший виріб.

При розвитку ремісничого виробництва з'являються примітивні ручні токарні і свердлувальні верстати, а для роботи на них металорізальні інструменти – різці, свердла, напилки і ін. Перехід до машинної індустрії супроводжувався бурхливим розвитком металорізального інструмента. У другій половині XIX ст. з'являється багато видів різальних інструментів, у кінці XIX ст. – черв'ячні фрези для нарізування зубів зубчатих коліс, у 20-і роки XX ст. – протяжки. І зараз створюються нові конструкції інструментів і удосконалюються ті, що раніше існували.

Підвищення ефективності різальних інструментів і їх працездатність взаємозв'язані і багато в чому залежать від матеріалу різальної частини інструмента. Поява нових інструментальних матеріалів сприяла підвищенню продуктивності обробки і вимагала створення нових конструкцій металорізальних верстатів.

На спеціалізованих інструментальних заводах організовано виробництво інструментів для різних машинобудівних виробництв (інструментів знеособленого застосування). Це стало можливим завдяки широкій стандартизації конструкцій різальних інструментів, їх конструктивних параметрів і розмірів.

Перші стандарти (ОСТ) на основні різальні інструменти були створені в 20...30-х роках. В даний час є понад 500 стандартів на всі види різальних інструментів масового застосування. У стандартах встановлені основні конструктивні робочі розміри інструментів, що визначають їх службове призначення, базові і приєднувальні розміри установки інструменту на верстаті, параметри і технічні вимоги, визначальну якість і працездатність інструменту.

При масовому і великосерійному виробництві деталей, особливо в умовах гнучких виробничих систем, раціонально застосовувати інструменти, спроектовані з урахуванням конкретних умов обробки і устаткування (це так зване адресне проектування). З розвитком виробництва в умовах гнучких виробничих систем адресне проектування розширюватиметься.

Початковими для проектування інструменту є дані про оброблювану заготовку, форма і розміри оброблених поверхонь, їх необхідна точність і допустима шорсткість, матеріал і його технологічні властивості, а також технічні дані устаткування, на якому проводитиметься обробка, необхідна продуктивність.

За цими даними встановлюють вид інструмента, його конструкцію, матеріал ріхальної частини і основні параметри. Потім розраховують конструктивні і геометричні параметри інструмента, визна-

чають виконавчі розміри робочої частини, необхідну точність, призначають допуски, розробляють робоче креслення.

При проектуванні інструментів доводиться виконувати складні розрахунки за визначенням геометричної форми різальних кромek, що забезпечують необхідну форму і точність оброблених поверхонь, розрахунки із забезпечення міцності і жорсткості інструмента, найменшій витраті матеріалу, найменшій потрібній для обробки потужності і ін. Ці розрахунки необхідно проводити з використанням теоретичних положень фундаментальних наук і новітніх засобів обчислювальної техніки.

Основні вимоги, що пред'являються до різальних інструментів, визначаються їх службовим призначенням: забезпеченням працездатного стану інструмента, тобто стану, при якому він здатний виконувати обробку різанням, отриманням необхідної форми, розмірів і якості обробленої поверхні заготовок, найбільшою продуктивністю процесу обробки з найменшими витратами (економічна ефективність); крім того необхідно виконати наступні додаткові вимоги: можливість і технологічність виготовлення і відновлення

1 ІСТОРІЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

1.1 Ера кам'яних знарядь

Історія появи перших знарядь праці та інструментів налічує тисячоліття. Праця і прагнення вижити формували людину та нові знаряддя праці.

Виникають прості ручні інструменти, такі як: скребок (рис. 1.1), сокира (рис. 1.2) та ін. Звичайно, це був значний крок у розвитку інструмента. Але інструмент зроблений з дерева або каменя був недовговічний та не дуже високої продуктивності.

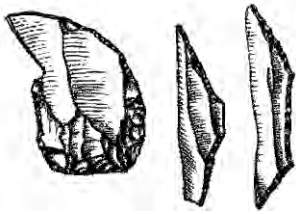


Рис. 1.1. Кам'яний скребок



Рис. 1.2. Кам'яна сокира

Особливо актуальною була проблема гостроти різального леза: дерев'яні знаряддя могли ламатися, швидко тупилися. До того ж, їх не завжди можливо використовувати.

1.2 Ера металів

Величезним прогресом стала та епоха, коли люди навчилися самотійно здобувати вогонь (рис. 1.3). Слід мати на увазі не ті моменти, коли блискавка вдарила в дерево, і первісна людина перенесла вогонь на палицю. Надважливим було самотійне цілеспрямоване здобуття вогню, коли чиркали камінь об камінь, або використовували кремій.

Завдяки полум'ю люди в період з III по I тисячоліття до н.е. навчилися плавити мідь та олово. В результаті, люди винайшли новий метал, названий бронзою. Бронза стала точкою відправлення у світі, де людина навчилася обробляти метали.



Рис. 1.3. Видобування вогню



Рис. 1.4. Бойова сокира

Проте справжня революція відбулася з відкриттям заліза. Адже інструмент, створений на його основі (рис. 1.4), відрізнявся високим рівнем міцності і довговічності. До того ж, залізні інструменти мали більшу різальну здатність, на відміну від кам'яних і бронзових знарядь.



Рис. 1.5. Перші сталеві свердла

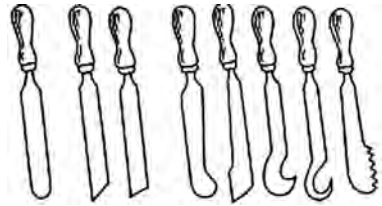


Рис. 1.6. Перші сталеві токарні різці

З'явилися свердла (рис. 1.5) і токарські різці (рис. 1.6). Ремісники об'єднуються в мануфактури. Істотно виросла продуктивність праці та її якість. Але навіть при такому кроці вперед, точність виробів не була високою, що позначалося в практичному застосуванні.

1.2.1 Машинне виробництво

Значним став крок від мануфактурного виробництва (рис. 1.7) до машинної праці (рис. 1.8). Багато в чому це стало можливим завдяки простому, але вкрай важливому винаходу. Мова йде про супорт. Завдяки даному пристрою працівники не тримали різець руками.



Рис. 1.7. Токарний верстат у Московії

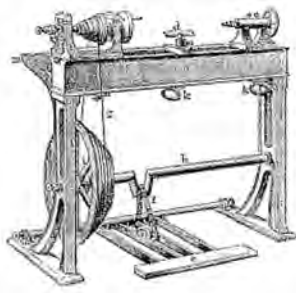


Рис. 1.8. Ножний токарний верстат (Європа 18 ст.)

Перші машини з супортом були побудовані А.К.Нартовим², який є творцем токарного гвинторізного верстата (рис. 1.9). На теперішній час у світі збереглося близько 30 різних конструкцій³.

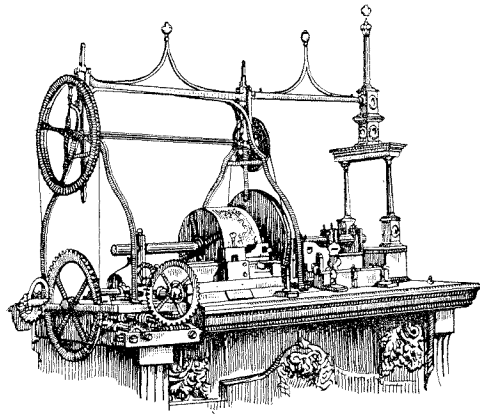


Рис. 1.9. Нартов та його верстат

Раніше робітник, що спеціалізується на ремісничій праці, не міг ні фізично, ні морально оброблятися одночасні декілька деталей. З появою верстатів ця проблема пішла в минуле.

²Нартов Андрій Костянтинович (Російська імперія 1693 – 1756) – механік, статський радник, член Академії наук (1723–1756), винахідник токарно-гвинторізного верстата з механізованим супортом і набором змінних зубчатих коліс.

³Верстати Нартова були “царською забавою”. Вони були прикрашені коштовними камінцями та призначені для розваг Петра I, який полюбував гратись у токаря.

1.2.2 До сучасності

У кінці 18 ст. було зроблено революційний крок у розвитку оброблення металів. У 1797 році англієць Модслі⁴ (рис. 1.10) винайшов перший токарний верстат промислового призначення (рис. 1.11). Його винахід поклав початок розвитку фабричного виробництва.



Рис. 1.10. Генрі Модслі

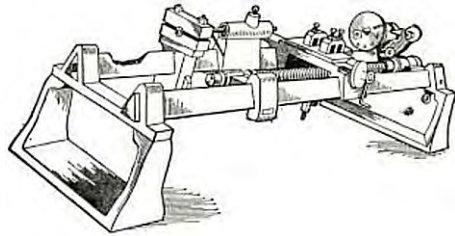


Рис. 1.11. Верстат Г. Модслі 1797 р.

Промислову революцію в Англії 18 ст. зазвичай пов'язують з удосконаленням ткацького верстата і винаходом парової машини.

Проте, ручне виготовлення деталей машин (рис. 1.12) виключало їх взаємозамінюваність, в результаті кожна машина ставала унікальною, а її ремонт був неможливий або вимагав копіткої підгонки нових деталей.

Головну роль у вирішенні цих проблем зіграло удосконалення токарного верстата, здійснене Генрі Модслі, якого вважають батьком-засновником сучасної верстатобудівної промисловості. Модслі першим організував виробництво машин та інструментів до них у промислових масштабах.



Рис. 1.12. Токарь часів Модслі
(Тримає різець руками)

⁴Генрі Модслі (англ. *Henry Maudslay*; 22.08.1771 – 14.02.1831) британський винахідник інструментів, вважається творцем токарно-гвинторізного верстата промислового призначення.

Початок 19 ст. ознаменувався появою нового машинного устаткування – фрезерних (рис. 1.13) та свердлувальних (рис. 1.14) верстатів. Їх поява дала поштовх розвитку масового виробництва та виготовлення деталей складної форми.



Рис. 1.13. Фрезерувальний верстат
(Англія 19 ст.)



Рис. 1.14.
Свердлувальний верстат
(Німеччина 19 ст.)

На початку 20 ст. з'явилися складні інструменти такі, як спіральне свердло⁵ (рис. 1.15 та 1.16) та дискові фасонні фрези (рис. 1.17).



Рис. 1.15. Свердло спіральне

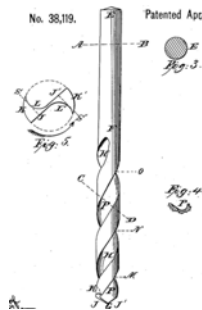


Рис. 1.16. Патент Морзе на свердло

⁵Спіральне свердло винайшов у 1861 році американець Стівен Амброс Морз. Довгий час спіральне свердло називали – американським.

Треба враховувати, що у сучасному машинобудуванні свердлення отворів становить 30% від всіх механічних операцій.

У теперішній час високопродуктивне фрезерування поступово витісняє інші методи оброблення деталей. Застосування фрез, на верстатах з числовим програмним керуванням, дає можливість обробляти деталі складної форми.

Фреза може обробити будь-яку деталь (вал, отвір, фасонну поверхню, тощо). Це дозволяє замінити фрезеруванням інші методи оброблення.



Рис. 1.17. Фреза дискова фасонна

1.2.3 Зуборізний інструмент

Практика показала, що від інструментів залежить рівень техніки та якість обробки. Особливо це стосується зуборізного інструмента.

Спочатку зубчаті колеса виготовляли методами лиття (рис. 1.18), що не дозволяло отримати достатньо точне колесо. Поява методів утворення зубчатого колеса струганням (рис. 1.19) призвела до значного розвитку машинобудування та верстатобудування.



Рис. 1.18. Литє зубчате колесо
(Німеччина 19 ст.)

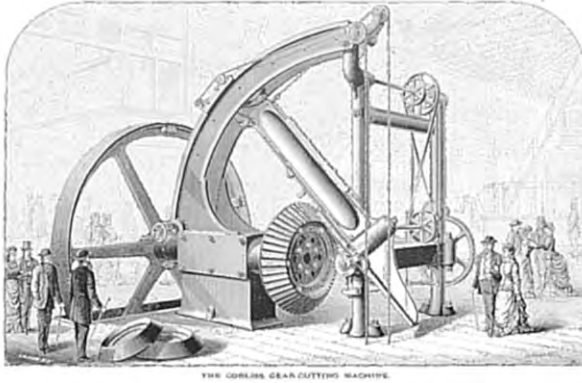


Рис. 1.19. Виготовлення конічного зубчатого колеса
(Англія 19 ст.)

З часом на зміну фасонному різцю прийшов новий інструмент – довбач (рис. 1.20), який працює за методом обкатки. У зв'язку з цим, фасонна зуборізна фреза поступилася місцем черв'ячній (рис. 1.21), яка успішно використовується до теперішнього часу.



Рис. 1.20. Зуборізний довбач



Рис. 1.21. Фреза черв'ячна зуборізна

1.3 Автоматизація виробництва

Автоматизація виробництва в машинобудуванні – це процес, коли контроль, управління і регулювання виробничого процесу виконуються не людиною, а автоматичними пристроями.

Труднощі механізації та автоматизації в машинобудуванні полягають у тому, що тут не застосовується безперервна технологія. Виробничим процесом є сукупність дискретних технологій, які дуже різноманітні.

На сучасному етапі автоматизація виробництва в машинобудуванні включає комплекс наступних заходів:

- оснащення виробничих ліній сучасним роботизованим устаткуванням;
- впровадження АСУ ТП⁶;
- автоматизація управління.

У машинобудівному виробництві, при впровадженні автоматизації, з інженерної точки зору, часто достатньо складно автоматизувати весь цикл виробництва. Достатньо запровадити автоматизацію на окремих, не зв'язаних один з одним, процесах. Розглянемо це на прикладах.

Приклад 1.1 (Ливарний цех).

У ливарному цеху автоматизується процес завантаження шихти, контроль температури і заливка металу у форми. Різні датчики, пов'язані з контролем, ланцюги зворотного зв'язку і дистанційне керування можуть звести до мінімуму участь людини в цьому шкідливому виробництві.

Приклад 1.2 (Механічний цех).

У цехах верстатної обробки вже давно застосовують токарні, фрезерні і багатопрофільні верстати з ЧПК, коли участь людини зводиться тільки до введення параметрів у програму і пуск всієї лінійки верстатів. Решту всіх операцій здійснює комп'ютер. Переміщення заготовки, установка її на наступний верстат і контроль розмірів виконується автоматично.

1.3.1 Комп'ютеризація виробництва

Основним чинником автоматизації технологічних процесів і виробництв у машинобудуванні є впровадження автоматизованої системи управління технологічними процесами, коли управління здійснюється без участі людини.

⁶ АСУ ТП – автоматизована систему управління технологічним процесом

До системи входить автоматизація безперервних, окремих і змішаних технологічних процесів. В результаті це приводить до збільшення ефективності виробництва, поліпшення якості продукції та розробки і впровадження нових зразків промислової продукції.

Одним з основних напрямів розвитку інструмента є застосування комп'ютерних технологій в інструментальному виробництві. Сьогодні у всьому світі інструментальне виробництво є основним споживачем ринку CAD/CAM-систем і послуг (до 30%).



Рис. 1.22. Обчислювальний зал казначейства США 1920 рр.

Аналізуючи особливості виробництва підприємств, які в нинішніх економічних умовах зберегли виробництво своєї продукції (рис. 1.22), перш за все необхідно відзначити наявність у них наступних матеріально-технічних і програмно-інформаційних передумов для розвитку комп'ютеризації інструментального виробництва:

- наявність значного парку верстатів з ЧПК різних модифікацій;
- проведення модернізації верстатів випуску минулих років для забезпечення на них 3–, 4– і 5–координатної обробки;
- придбання сучасної обчислювальної техніки і розвиток її мережевого використання;
- розповсюдження в інструментальному виробництві систем геометричного моделювання SolidWorks, Solid Edge, Mechanical Desktop, CATIA, Unigraphics;
- освоєння, у складі систем CAD/CAM високого рівня, модулів розробки програм ЧПК для обробки деталей складної форми;
- створення локальних цехових обчислювальних мереж для прямої передачі даних від комп'ютера до верстатів;

- наявність фахівців, які мають певний досвід комп'ютерного проектування (проектувальники, технологи, програмісти, робочі високої кваліфікації).

Проте запуск у виробництво виробів складної форми пов'язаний з низкою проблем, від яких залежить здатність підприємства випустити конкурентоздатну продукцію.

Проблема 1

Можливість комп'ютерного проектування з використанням сучасних CAD/CAM-систем, які дозволяють отримати математичні моделі виробів складних дизайнерських форм.

Для виробництва цих виробів необхідне складне оснащення (штампи і прес-форми). Виготовлення такого оснащення вимагає, у свою чергу, як багатокоординатної механічної, так і ерозійної обробки.

З цією метою в процесі комп'ютерної технологічної підготовки інструментального виробництва необхідно включити розробку комп'ютерних моделей заготовок, електродів, наладок і забезпечити документування цих компонентів технології виготовлення деталей оснащення в інструментальному виробництві.

Проблема 2

Оскільки ерозійна обробка вимагає значних фінансових витрат внаслідок дорожчання електроенергії, кольорових металів, графіту, підприємства все більше збільшують частку механічної обробки.

Це спричиняє збільшення додаткових переходів для забезпечення можливості механічної обробки фасонних ділянок деталей. При цьому істотно росте загальний об'єм програм ЧПК для обробки одного виробу.

У результаті виникає необхідність забезпечити прискорення процесу розробки керуючих програм, за рахунок підвищення ефективності використання наявних програмних засобів – шляхом розробки типових технологій обробки в комп'ютерному середовищі і створення спеціалізованих програмних засобів автоматизації праці технолога-програміста.

Проблема 3

Збільшення сортаменту використовуваного інструменту приводить до зростання кількості програм, скорочуючи при цьому час обробки на верстаті даним інструментом. Отже, час розробки програми стає більше часу обробки деталі на верстаті.

Крім того, устаткування, що є на підприємстві, повинно мати достатній об'єм оперативної пам'яті для введення в стійку ЧПК всієї програми цілком, і на стадії розробки програми доводиться стежити за її оптимальним розміром.

Тому прискорення розробки керуючих програм, може бути досягнуте за рахунок застосування спеціальних, повністю автоматизованих засобів ділення програм на частини, за рахунок розмноження і виконання афінних перетворень траєкторії, за рахунок програм і привласнення імен відповідно до прийнятого стандарту підприємства по використанню мереж управління верстатами і архівації програм.

Проблема 4

Існуюча нормативна база стандартизації процесу технологічної підготовки інструментального виробництва відстала від вимог сучасності.

Для забезпечення прискорення наладки верстата (за наявності величезної кількості програм обробки одного виробу), вже мало дати в цех карту наладки інструмента. Необхідно представити точні операційні ескізи за кожною програмою ЧПК для оптимального підбору довжини інструмента, для закріплення деталі на верстаті, для забезпечення максимальної жорсткості системи "верстат – пристосування – інструмент – деталь", щоб гарантувати продуктивність і якість обробки.

Слід розробити методичні рекомендації по використанню сучасних графічних технологій підготовки технологічних документів і нормуванню верстатних робіт.

Проблема 5

Традиційна технологія підготовки виробництва практично не регламентує роботи, пов'язані з обробкою на верстатах з ЧПК, оскільки вона орієнтована на обробку на універсальних верстатах.

Перехід до виробів складної форми значно збільшує час розробки програм в загальному циклі запуску виробу у виробництво. От-

же, необхідно перейти до нового рівня організації технологічної підготовки інструментального виробництва – з використанням засобів комп'ютерних технологій і промислової інформатики.

1.3.2 Наскрізне комп'ютерне проектування

Під наскрізним комп'ютерним проектуванням і виробництвом нових виробів слід розуміти середовище, в якому:

- є комп'ютерні геометричні моделі виробу і оснащення для його виробництва;
- на устаткуванні з програмним управлінням обробляють або деталі виробу і оснащення, або головні їх поверхні, наприклад формоутворювальні поверхні прес-форм, штампів;
- організований рух електронних конструкторських і технологічних моделей і документів між різними службами підприємства.

Можна розглядати наскрізні комп'ютерні технології ширше, включаючи до них дизайнерську підготовку виробів, оптимізацію робочих характеристик виробів, систему контролю якості виробів із застосуванням програмних продуктів, АСУ ТП підприємства і інші складові повного циклу життя виробу.

Але для технологічної підготовки інструментального виробництва головними є три елементи:

- електронна геометрична модель деталі;
- устаткування з ЧПК;
- електронний документообіг.

Для оптимізації тимчасових витрат технолога-програміста комп'ютерна модель деталі, отримана на етапі конструювання, повинна бути відповідним чином підготовлена, з урахуванням взаємозв'язку особливостей геометрії деталі і необхідних видів обробки для її виготовлення.

Конструктор і технолог розглядають електронну модель деталі по-різному і користуються для її побудови різними засобами системи геометричного моделювання, коли головними є:

- для конструктора головним є функціонування деталі у складі проектного пристрою, розмірні зв'язки з іншими деталями,

- а для технолога – можливість виготовлення деталі на наявному в його розпорядженні устаткуванні.

Тому при передачі електронній моделі від АРМ⁷ конструктора до АРМ технолога повинен існувати етап перетворення конструкторської моделі деталі в технологічну.

Електронна геометрична модель деталі виробу або оснащення, з погляду технології її виготовлення, є ієрархічним об'єктом. Представлення технологічної моделі деталі може відбуватися на декількох рівнях:

- твердотільна модель деталі;
- поверхнева модель деталі у вигляді сукупності граней;
- каркасна модель як безліч ліній;
- комп'ютерне представлення креслення деталі, отриманого по перерахованих вище моделях.

Твердотільна модель

Твердотільна модель (*solid model*) – тривимірна електронна геометрична модель, що представляє форму виробу, як результат композиції заданої безлічі геометричних елементів із застосуванням операцій булевої алгебри до цих геометричних елементів (рис. 1.23).

Якщо перед запуском у виробництво потрібно отримати натурний зразок виробу методом пошарового синтезу (*lamine synthesis*) або швидкого прототипування (*rapid prototyping*), то тут головною є твердотільна модель. При цьому, сучасні методи формоутворення, не виключають подальшого механічного доопрацювання отриманих виробів.

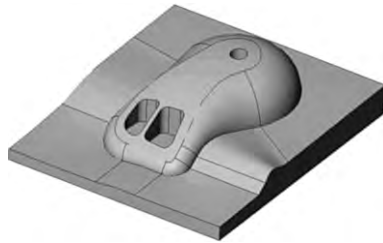


Рис. 1.23. Твердотільна модель

⁷АРМ – автоматизоване робоче місце конструктора або технолога. Загалом, робітники, що працюють на АРМ мають доступ до єдиної електронної мережі та баз даних.

Поверхнева модель

Поверхнева модель (*surface model*) – тривимірна електронна геометрична модель, представлена безліччю обмежених поверхонь, що визначають в просторі форму виробу (рис. 1.24).

У разі механічної обробки достатнім може бути один з нижчих рівнів геометричних моделей деталей або їх комбінація. Якщо деталь є сукупністю огинаючих поверхонь інструмента при його русі одночасно по трьом координатам, то необхідна поверхнева модель деталі.



Рис. 1.24. Поверхнева модель

До даного виду обробки відноситься фрезерування кульовими і торіювальними фрезами (роботу кінцевої фрези при русі по поверхні можна розглядати як окремий випадок торіювальної фрези). При цьому може здійснюватися, як фрезерування безпосередньо самої деталі, так і оснащення для її виготовлення.

Каркасна модель

Каркасна модель (*wire-frame model*) – модель об'єкту в тривимірній графіці, що є сукупністю вершин і ребер, яка визначає форму багатогранного об'єкту, що відображається (рис. 1.25). Каркасні моделі були відомі ще в епоху Відродження.

Зазвичай подібна обробка є 3D-обробкою (три координати в програмі для устаткування повністю визначають положення інструмента) або 4D- і 5D-обробкою (інструмент або стіл має можливість обертатися під управлінням так званих четвертої і п'ятої координати – один з кутів Ейлера).

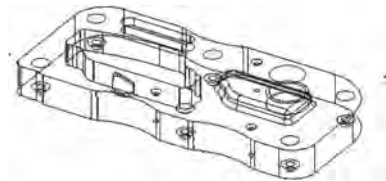


Рис. 1.25. Каркасна модель

Така структуризація електронної технологічної моделі деталі забезпечує оптимальний варіант підсистеми технологічної підготовки

виробництва з погляду достатності вхідної інформації, як для вибору виду обробки і відповідного верстата, так і для розробки програм ЧПК виготовлення деталей.

Рух інструмента можна розділити на робочий і допоміжний. Якщо робочий рух здійснюється в одній площині, то для підготовки програми достатньо плоского контуру. Такий спосіб обробки називається 2D-обробкою, наприклад лазерне різання листового матеріалу, токарна обробка.

Якщо ж устаткування забезпечує рух інструмента по розташованих в різних площинах контурах, паралельних координатних площинах інструменту, то виходить 2,5D-обробка, до якої відноситься, наприклад, обробка корпусу редуктора на оброблювальному центрі: вибірка кишень, торцювання поверхонь, попереднє фрезерування під розточування і свердлувальна обробка.

Для 2D-обробки цілком достатньо контурної моделі, для 2,5D-обробки, окрім контуру, в цілях здійснення настройки верстата найчастіше додатково потрібне креслення деталі.

Щоб оптимізувати витрати на розробку програм для перерахованих вище типів обробки, слід вибрати відповідну CAD/CAM-систему.

1.3.3 Комп'ютеризація інструментів

Комп'ютеризація інструментального виробництва підвищує вимоги до кваліфікації технолога-програміста і його роль в процесі запуску у виробництво нових виробів.

CAM система

CAM (*computer-aided manufacturing*) автоматизована система, або модуль автоматизованої системи, призначений для підготовки керувальних програм для верстатів з ЧПУ.

Під терміном CAM система розуміються:

- як сам процес комп'ютеризованої підготовки виробництва;
- так і програмно-обчислювальні комплекси, які використовують інженери-технологи.

Надзвичайно важливим є прискорення технологічної підготовки комп'ютеризованого інструментального виробництва. Це здійснюють за допомогою CAD-систем.

CAD система

Система автоматизованого проектування, що реалізовує інформаційну технологію виконання функцій проектування.

CAD-система є організаційно-технічною системою, що призначена для автоматизації процесу проектування, складається з персоналу і комплексу технічних, програмних і інших засобів автоматизації його діяльності. Також для позначення подібних систем широко використовується абревіатура САПР.

Головною перевагою CAD/CAM-систем вищого рівня автоматизації є те, що вони не тільки мають технологічну інформацію в зручнішому для огляду вигляді і дозволяють відокремити процес формування NC-програм, але і виконують розрахунок необроблених зон, дають можливість реалізувати практично будь-яку технологію обробки за короткий строк.

NC-програма

NC-програма – програма чисельного контролю (*numerikal control*).

Світовий досвід впровадження CAD/CAM-систем в автомобільному виробництві показав, що час розробки програм значно скорочується за наявності типових технологічних процесів розробки NC-програм. До того ж ці процеси оформлені у вигляді файлів, легко доступні для читання і внесення змін, як в текстовому редакторі, так і в діалозі з технологом при розробці NC-програм.

Такі техпроцеси, що створюються спільно з досвідченими технологами-виробничниками, проходять апробацію при впровадженні програм у виробництво і зберігаються окремо від моделей деталей. При їх використанні знижується не тільки вартість розробки NC-програм, але і кількість допущених технологічних помилок, а відповідно і вартість переробки браку.

Істотно полегшує роботу і наявність в даних процесах елементів опису технології обробки необроблених зон попереднім інструментом. При розробці NC-програми залишається тільки запустити автоматичний розрахунок кривих, що обмежують ці зони, У зв'язку з цим особливої актуальності набуває завдання використовувати дані можливості CAD/CAM-систем для інструментального виробництва.

Таким чином, можна зробити висновок, що головним чинником в комп'ютеризації технологічної підготовки інструментального ви-

ництва є не стільки вибір системи вищого рівня, скільки організація взаємодії компонентів комп'ютерної технології в цілому.

Економію необхідних капітальних вкладень в комп'ютеризацію інструментального виробництва можна отримати за допомогою як раціонального підбору компонентів для організації наскрізної комп'ютерної технології виготовлення деталей оснащення, так і комплексного підходу до вирішення всього круга методичних, організаційних, програмних і інформаційних завдань реалізації вказаної технології.

Питання для самоконтролю

1. Коли було винайдено перший промисловий токарний верстат?
2. У якій країні винайшли спіральне свердло?
3. Які поверхні можна обробляти фрезами?
4. Як обробляли конічні колеса методом стругання?
5. Назвіть основні складові автоматизації виробництва.
6. Охарактеризуйте основні проблеми комп'ютеризації виробництва.
7. В чому полягає наскрізне компостерне проектування?
8. Що таке твердотільна модель?
9. Що таке поверхнева модель?
10. Що таке каркасна модель?
11. В чому полягає комп'ютеризація інструментального виробництва?

2 ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

2.1 Властивості

У теперішній час інструментальна промисловість використовує декілька десятків інструментальних матеріалів. Для їх правильного застосування необхідно знати:

- властивості матеріалів;
- вимоги до різального інструмента в конкретних умовах експлуатації;
- а також можливості інструментального цеху по виготовленню проєктованого інструменту.

Інструментальні матеріали призначені для виготовлення різального інструмента, а також штампів гарячої та холодної обробки тиском.

Різальні інструменти працюють в умовах високих температур і навантажень, а також інтенсивного зношування. Тому інструментальні матеріали повинні мати особливі фізико-механічні властивості.

Найважливішою характеристикою інструментальних матеріалів є їх зносостійкість і теплостійкість.

Твердість

Інструментальні матеріали повинні мати твердість, що перевищує (у 2...3 рази) твердість оброблюваного матеріалу, а також високу міцність і в'язкість.

Якщо інструмент не має достатньої твердості, то його різальна кромка не зможе видалити шар припуску на оброблення, вона швидко втратить здатність різати.

Для того, щоб надати інструменту необхідну твердість перші сталеві інструменти загартовували у попелі кісток⁸. Цей процес у сучасній техніці називають цементацією⁹.

⁸Попіл отримували із кісток домашньої худоби, зазвичай козла. Це було дуже дорого, тому кращу зброю мали заможні володарі господарі.

⁹Для цього використовують вугілля отримане від деревини або інші природні речовини (як не як, а 21 століття). Найкраще використовувати березове вугілля.

Зносостійкість

Чим вище зносостійкість, тим повільніше зношується інструмент і вище його розмірна стійкість.

Це означає, що деталі, послідовно оброблені одним і тим же інструментом, матимуть мінімальне відхилення розмірів.

Наприклад, у разі, коли обточують довгі вали, через зношення інструмента (різця) розмір обробленого валу буде поступово збільшуватись. Такий тип зношення називають розмірним зношуванням, та кажуть про розмірну стійкість інструмента.

Протидія теплу

У процесі різання витрачається багато механічної енергії, яка перетворюється на теплову.

Внаслідок виділення тепла різальна кромка інструмента значно нагрівається (до червоного кольору). Отже, інструмент повинен зберігати твердість і різальні властивості при тривалому нагріві, тобто інструментальні матеріали повинні мати достатню теплостійкість (червоностійкість).

До появи сучасних марок інструментальних матеріалів, головною проблемою інструмента було його нагрівання під час роботи. Через це оброблення деталей відбувалось дуже повільно. Щоб охолодити інструмент застосовували різні охолоджувальні середовища (рис. 2.1), інколи дуже екзотичні¹⁰.



Рис. 2.1. Охолодження

Навантаження

Робота багатьох інструментів супроводжується високими статичними та динамічними (ударними) навантаженнями.

Ударні навантаження діють і на різальні інструменти (різці), особливо при обробці литих заготовок з нерівномірними припусками. Тому, щоб виключити поломку інструмент повинен мати значну в'язкість і міцність матеріалу, з якого він виготовлений.

Окрім службових характеристик для інструментальних матеріалів велике значення мають технологічні властивості:

¹⁰На деяких заводах Росії свердла охолоджували соняшниковою олією. А під час оброблення міді – скислим молоком (кефіром).

- хороша оброблюваність різанням і тиском в холодному стані
- незначна чутливість до перегріву
- малі зміни об'єму при гарті
- хороша здатність до шліфування.

Необхідний рівень кожної з основних властивостей (зносостійкість, теплостійкість, міцність і в'язкість) для інструментів різних типів різний.

Здебільшого одночасне поєднання окремих властивостей (наприклад, високої твердості і в'язкості) у багатьох випадках важко забезпечити. У такому випадку перевагу віддають одному або декільком основним властивостям, які найбільшою мірою визначають працездатність інструментів даного типу¹¹.

Інструменти різних груп працюють в різних умовах. Тому для їх виготовлення використовуються матеріали з різними властивостями.

Зведення про властивості (фізико-механічні характеристики) матеріалів досить детально викладені в спеціальній літературі, але без пояснення причин подібних рекомендацій.

Однак, у разі "нестандартної ситуації" конструктор має сам, на основі свого досвіду, вибрати інструментальний матеріал. Тому доцільно пояснити основні причини подібних рекомендацій і накреслити загальний алгоритм вибору інструментальних матеріалів¹².

Вибір матеріалу здійснюють методом послідовного відбору за наступними параметрами:

- теплостійкість під час роботи з великими швидкостями;
- механічна міцність проти руйнування різального леза;
- зносостійкість у роботі;
- технологічність у виготовленні;
- економічність.

2.1.1 Міцність

Міцність матеріалу визначає його придатність для оснащення конкретного інструмента в заданих умовах роботи. Наприклад, но-

¹¹ Витрати на інструмент залежно від характеру виробництва складає в даний час від 2 до 12% вартості машин.

¹² Інколи в літературі інструментальні матеріали називають ріжучими матеріалами. Це не зовсім вірно, адже інструментальні матеріали застосовують для виготовлення інструментів які не тільки ріжуть, але і деформують матеріал заготовки.

жівкове полотно не можна робити з твердого сплаву або мінерало-кераміки – воно зламається.

Міцність

Властивість матеріалу чинити опір руйнуванню під дією напружень, що виникає під впливом зовнішніх сил. Властивість конструкції виконувати призначення, не руйнуючись протягом заданого часу.

Міцність матеріалу (табл. 2.1) повинна бути тим більшою, чим нижче жорсткість технологічної системи, більше нерівномірність навантаження на інструмент і рівень цього навантаження, а також тонше тіло самого інструменту.

Табл. 2.1. Міцність інструментальних матеріалів

Інструментальний матеріал	Допустиме напруження, МПа	Мікротвердість, HV
Вуглецеві сталі	1900...2200	–
Леговані сталі	2000...2500	–
Швидкорізальні сталі	2050...3500	700...750
Тверді сплави	800...2000	1600...1700
Мінералокераміка	350...700	1500

У сучасній промисловості найбільше поширення мають швидкорізальні сталі (свердла, розвертки, протяжки) та тверді сплави (різці, фрези), особливо збірної конструкції.

2.1.2 Зносостійкість

Зносостійкість разом з теплостійкістю визначає період стійкості інструмента, а значить, його довговічність і продуктивність. Період стійкості повинен бути не менш оптимального¹³.

Стійкість однакових інструментів може коливатися в широких межах – від півтора до трьох і більше разів. Це обумовлене наступними чинниками:

¹³Період стійкості (стійкість) – це проміжок часу в якому інструмент зберігає свої експлуатаційні властивості. Вважають, що сучасний інструмент має зберігати експлуатаційні властивості протягом 30...60 хвилин.

- неоднорідність властивостей самого інструментальною матеріалу;
- порушення параметрів технології виготовлення інструмента (термічної обробки, шліфування і заточування);
- порушення умов експлуатації інструмента, а також цілою низкою інших чинників.

Це обумовлює різний оптимальний періоду стійкості інструмента для різного інструмента.

Для інструментів до універсальних неавтоматизованих верстатів оптимальним повинен бути середній період стійкості¹⁴.

Для автоматизованого виробництва – гарантований, найменший, оскільки для таких інструментів потрібна висока надійність роботи. Випадковий вихід інструмента з ладу на автоматичних верстатах і лініях повинен бути виключений, адже через незаплановану зміну зламаного інструмента, доведеться зупиняти всю автоматичну лінію, а це досить дорого¹⁵.

Враховуючи викладене, для інструментів автоматизованого виробництва застосовують інструментальні матеріали високої якості та надійності¹⁶.

З матеріалів, що відповідають необхідній міцності, тепло- і зносостійкості, вибирають той, який найбільш придатний для якісного виготовлення інструмента в умовах конкретного інструментального цеху. Це відноситься, перш за все, до таких операцій, як шліфування, заточування, термічна обробка і обробка тиском.

Правило 2.1 (Заточування з прижогами).

При недостатній якості заточування – слід уникати використання швидкорізальних сталей підвищеної теплостійкості, схильних до прижогів в процесі шліфування, оскільки їх переваги можуть зникнути при заточуванні.

¹⁴ Насправді працюють поки інструмент працює.

¹⁵ Промислові корпорації Японії здійснюють примусову заміну різального інструмента через 1/3 дійсної стійкості інструмента.

¹⁶ На сучасних автоматизованих виробництвах спочатку експериментально визначають час працездатності інструмента, а потім інструмент примусово змінюють через третю частину його працездатності.

Наприклад, встановили, що інструмент працює 60 хвилин, то на автоматичній лінії його замінюють через 20 хвилин, не залежно від того – може він ще працювати, чи ні. Економічно це вигідніше ніж зупиняти всю автоматизовану лінію.

Інструмент повинен гарантувати якісну роботу протягом встановленого часу. Тому інструментальні матеріали повинні забезпечувати більше значення гарантованого періоду стійкості.

Стійкість інструмента заточеного з прижогами у три рази нижче, ніж заточеного нормально.

Через можливість прижогов слід уникати використання сталей з поганою придатністю до шліфування для виготовлення складних високоточних інструментів, особливо малого розміру. Наприклад, інструмент для утворенні різьб.

Схильність до викришування різальних кромek інструмента в роботі обмежує застосування твердих сплавів і інших твердих матеріалів для оснащення складнопрофільного фасонного інструмента.

Правило 2.2 (Найбільша економічність).

Найраціональнішим є інструментальний матеріал, який забезпечить інструменту найбільш високу економічність.

Здавалося б, це має бути найбільш дешевий матеріал. Але це далеко не так. Складні, трудомісткі у виготовленні інструменти, що працює з низькими швидкостями (протяжки, розвертки) ніколи не виготовляють з найдешевших сталей.

Навіть такі відносно прості інструменти, як ручні ножівкові полотна (рис. 2.2), економічно вигідно виготовляти із швидкорізальної сталі замість вуглецевої або низьколегованої інструментальної, такої, що задовольняє вимогам теплостійкості, міцності і технологічності.

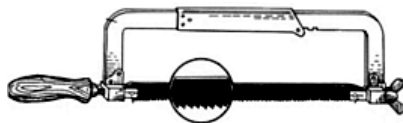


Рис. 2.2. Ручна ножівка

Зносостійкість швидкорізальних полотен в десятки разів вище за зносостійкість полотен з вуглецевої сталі, у зв'язку з чим збільшується їх загальний термін служби і економічність, хоча вони у декілька разів дорожче вуглецевих.

У ще більшій мірі це справедливо для складних інструментів, що характеризуються високою трудомісткістю виготовлення.

2.1.3 Теплостійкість

Теплостійкість

Здатність матеріалу зберігати певні властивості під час підвищення його температури.

Теплостійкість повинна забезпечити заданий рівень швидкостей різання. Чим вище цей рівень, тим більше теплостійким повинен бути інструментальний матеріал.

Під час оброблені різанням температура в зоні різання пропорційна швидкості різання – чим вища швидкість, тим вища температура.

Критичні (допустимі) значення температур і швидкостей різання, різні для різних матеріалів. Їх орієнтовні значенні у табл. 2.2.

Табл. 2.2. Теплостійкість інструментальних матеріалів

Інструментальний матеріал	Теплостійкість, °C	Допустима швидкість, м/хв
Вуглецеві сталі	200... 250	10... 15
Леговані сталі	250... 300	15... 30
Швидкорізальні сталі	600... 700	40... 60
Тверді сплави	800... 900	70... 80
Мінералокераміка	1100... 1500	90... 100

2.2 Матеріали

2.2.1 Інструментальні сталі

Інструментальні вуглецеві і низьколеговані сталі майже не застосовують для виготовленні різального інструмента.

Швидкорізальні сталі використовують для виготовлення всіх, без виключення, різальних інструментів. Для обробки важкооброблюваних сталей і сплавів рекомендуються сталі підвищеної і високої теплостійкості.

За хімічним складом, ступеню легування інструментальні сталі розділяють на вуглецеві, леговані і швидкорізальних сталі. Фізико-механічні властивості цих сталей при нормальній температурі достатньо близькі, розрізняються вони теплостійкістю і прожарюваною при гарті.

В інструментальних легованих сталях масовий зміст легуючих елементів недостатній, щоб зв'язати весь вуглець в карбіди, тому теплостійкість сталей цієї групи лише на 50...100°C перевищує теплостійкість інструментальних вуглецевих сталей.

У швидкорізальних сталях прагнуть зв'язати весь вуглець в карбіди легуючих елементів, виключивши при цьому можливість утворення карбідів заліза. За рахунок цього втрата працездатності швидкорізальних сталей відбувається при вищих температурах.

Вуглецеві сталі

Інструментальні вуглецеві сталі позначають літерою "У", за якою слідує цифра, що характеризує масовий вміст вуглецю в сталі в десятих долях відсотка. Так, в сталі марки У10 масовий зміст вуглецю складає один відсоток ($10 \times 0,1\% = 1\%$).

Літера "А" в позначенні позначає що це високоякісна сталь з пониженим масовим вмістом домішок¹⁷. Основний хімічний склад (у відсотках) вуглецевих сталей такий:

Марка	C	Mn	Si	Марка	C	Mn	Si
У7	0,65...0,74			У7А	0,65...0,74		
У8	0,75...0,84			У8А	0,75...0,84		
У9	0,85...0,94			У9А	0,85...0,94		
У10	0,95...1,04			У10А	0,95...1,04		
У11	1,05...1,14	0,15...0,35	0,15...0,35	У11А	1,05...1,14	0,15...0,30	0,15...0,30
У12	1,15...1,24			У12А	1,15...1,24		
У13	1,25...1,35			У13А	1,25...1,35		

Правило 2.3 (Сталі вуглецеві).

Із вуглецевих сталей виготовляють інструмент, який працює із невеликими швидкостями різання.

Основне застосування вуглецевих сталей у сучасному інструментальному виробництві наступне:

У7, У7А – зубила, стамески, пили, слюсарний інструмент.

¹⁷ Насправді позначка літерою "А" виникла тому, що інструмент із цих марок сталі використовували на верстатах-автоматах. Відповідно їх і позначали як "автоматні" літерою "А".

- У8, У8А – ножиці, пилки, матриці, ручний інструмент для оброблення деревини.
- У10, У10А – різальний інструмент малого розміру, здебільшого ручного використання.
- У11, У11А – різальний інструмент малого розміру, здебільшого ручного використання.
- У12, У12А – різальний інструмент, що працює з малими швидкостями різання.
- У13, У13А – мілкий різальний інструмент, що працює з малими швидкостями різання – напилки, шабери, гравірувальний інструмент.

У сучасному інструментальному виробництві вуглецеві сталі застосовують рідко, здебільшого це ручний інструмент.

Леговані сталі

В інструментальних легованих сталях перша цифра, характеризує масовий вміст вуглецю в десятих долях відсотка (якщо цифра відсутня, то вміст вуглецю в ній до одного відсотка). Літери в позначенні вказують на зміст відповідних легуючих елементів:

Г	–	марганець
Х	–	хром
С	–	кремній
В	–	вольфрам
Ф	–	ванадій

Цифри позначають вміст відповідного елементу у відсотках. Інструментальні леговані сталі відрізняються малими деформаціями при термічній обробці. Основний склад легованих інструментальних сталей такий:

Марка	С, %	Мп, %	Si, %	Cr, %	W, %	V, %
Х	1,0	0,4	0,15	1,45	–	–
ХГ	1,4	0,55	0,35	1,45	–	–
9ХС	0,9	0,45	1,3	1,0	–	–
ХВГ	1,0	1,0	0,25	1,1	1,4	–
ХВГС	1,0	0,75	0,75	0,8	0,6	0,1

Правило 2.4 (Сталі леговані).

Основна галузь використання легованих сталей – інструмент для утворення різьб та протяжки (через мале деформування після термічного оброблення).

Швидкорізальні сталі

Хімічний склад і характеристики за міцністю основних марок цих сталей приведені в таблицях¹⁸. Швидкорізальні сталі позначаються літерами, відповідними карбідоутворюючим і легуючим елементам:

Р – вольфрам	К – кобальт
М – молібден	Т – титан
Ф – ванадій	Ц – цирконій
А – азот	

Після літери слідує цифра, що позначає середній масовий вміст елемента у відсотках¹⁹. Зміст хрому менше 4 відсотків у позначенні марки не вказують.

Цифра, що стоїть на початку позначення сталі, указує вміст вуглецю в десятих долях відсотка. Наприклад, сталь 11РЗАМЗФ2 містить близько:

1,1%	–	вуглецю;
3%	–	вольфраму;
3%	–	молібдену;
2%	–	ванадію.

Різальні властивості швидкорізальних сталей визначаються об'ємом основних карбідоутворювальних елементів: вольфраму, молібдену, ванадію, кобальту, азоту.

¹⁸Сучасних швидкорізальних сталей близько сотні марок. Вони відрізняються за складом, але за властивостями не приблизно однакові. Головним є конкурента боротьба між виробниками.

¹⁹Хімічний склад швидкорізальних сталей іноземних виробників – таємниця. Марка сталі є довільним набором літер та цифр, які ніяк не пов'язані з її складом. Тому довідкові таблиці співвідношень різних марок інструментальних сталей досить часто протирічають одна-одній.

Правило 2.5 (Сталь швидкорізальна).

Швидкорізальні сталь застосовують для виготовлення фасонного різального інструмента складної форми – свердел, фрез та протяжок.

Основна галузь застосування швидкорізальних сталей у сучасному інструментальному виробництві така:

- P9 – для інструментів простої форми та таких, що не потребують значного шліфування.
- P12 – проміжна між P18 та P9.
- P18 – для різальних інструментів всіх типів²⁰.
- P6M5 – сучасний замітник сталі P18. Можливо застосування для інструментів, що працюють в умовах ударних навантажень.
- P6M5ФЗ – фасонний інструмент для оброблення конструкційних сталей.
- P9Ф5 – інструмент для чистового оброблення не металевих матеріалів.
- P9K5 – інструменти для оброблення матеріалів підвищеної твердості.

2.2.2 Тверді сплави

Тверді сплави застосовуються для оснащення різців (окрім довбальних і зубостругальних), свердел, зенкерів, розверток, фрез для швидкісної обробки всіх матеріалів, а також для виготовлення мітчиків і інших інструментів, що працюють з низькими швидкостями різання, при обробці чавуну, кольорових металів і їх сплавів.

Залежно від складу тверді сплави поділяють на три групи:

- ВК – вольфрамо-кобальтові.
- ТК – титано-вольфрамо-кобальтові
- ТТК – титано-тантало-вольфрамо-кобальтові

²⁰Інструментальну сталь марки P18 у теперішній час майже не застосовують через дефіцит вольфраму.

Правило 2.6 (Тверді сплави групи ВК).

Сплави групи ВК використовують для обробки чавуну і інших крихких матеріалів.

Правило 2.7 (Тверді сплави групи ТК).

Сплави групи ТК використовують для обробки сталі і кольорових металів, що дають зливну стружку.

Правило 2.8 (Тверді сплави групи ТТК).

Сплавами ТТК застосовують для обробки будь-яких матеріалів в умовах, де потрібна підвищена міцність інструмента.

Насправді тверді сплави не є сплавами.
Твердий сплав, це – спечений порошок.

Тверді сплави використовують для оснащення:

- різці, що працюють з великим перетином зрізу і з ударними навантаженнями (стругання і точіння переривистих поверхонь);
- інструменти, що працюють з відносно низькими швидкостями різання (розвертки, мітчики, протяжки);
- інструменти з нежорсткими корпусами (свердла, дискові і відрізні фрези);
- інструменти, що працюють в умовах малої жорсткості технологічної системи;
- також деякі фасонні інструменти, де швидкорізальна сталь не забезпечує необхідної швидкості різання.

Основна галузь застосування найбільш поширених марок твердо-го сплаву наступна:

- ВКЗ – чистове точіння з малим перетином зрізу, остаточне нарізування різьб, розвертування отворів і інших аналогічних видів обробки сірого чавуну, кольорових металів і їх сплавів і неметалічних матеріалів (гуми, фібри, пластмаси, скла, склопластиків і так далі).

- ВК6 – чорнове і напівчорнове точіння, попереднє нарізування різьб токарними різцями, напівчистове фрезерування суцільних поверхонь, розсвердлювання і розточування отворів, зенкерування сірого чавуну, кольорових металів і їх сплавів і неметалевих матеріалів.
- ВК8 – чорнове точіння при нерівномірному перетині зрізу і переривистому різанні, стругання, чорнове фрезерування, свердлення, чорнове розсвердлювання, чорнове зенкерування сірого чавуну, кольорових металів і їх сплавів і неметалічних матеріалів. Обробка нержавіючих, високоміцних і жароміцних важкооброблюваних сталей і сплавів, зокрема сплавів титану.
- T15K6 – напівчорнове точіння при безперервному різанні, чистове точіння при переривистому різанні, нарізування різьб токарними різцями і головками, що обертаються, напівчистове і чистове фрезерування суцільних поверхонь, розсвердлювання і розточування заздалегідь оброблених отворів, чистове зенкерування, розветування вуглецевих і легованих сталей.
- T5K10 – чорнове точіння при нерівномірному перетині зрізу і переривистому різанні, фасонне точіння, відрізки токарними різцями; чистове стругання; чорнове фрезерування переривисті поверхонь і інших видів обробки вуглецевих і легованих сталей, переважно у вигляді поковок, штампувань і відливань по кірці і окалині.
- T5K12 – важке оброблювання по кірці і окалині конструкційних сталей та заготовок отриманих методом лиття.
- TT7K12 – чорнове і напівчистове оброблення важкооброблюваних матеріалів, нержавіючих сталей аустенітного класу, маломагнітних сталей і жароміцних сталей і сплавів, зокрема титанових.
- TT20K9 – фрезерування сталі, особливо фрезерування глибоких пазів у важких умовах важкооброблюваних сталей.

2.2.3 Мінералокераміка

Мінералокераміка дуже дешевий, твердий, тепло- і зносостійкий матеріал, але має низьку міцність. Це відноситься, перш за все до

оксидної кераміки. Карбідооксидна кераміка міцніша. Особливо ефективна при обробці чавунів і загартованих сталей різцями і торцевими фрезами з невеликими перетинами зрізу і рівномірним припуском (напівчистова і чистова обробка).

Оксидна кераміка для таких робіт непридатна, оскільки через підвищену крихкість не можна отримати гостру, без щербин різальну кромку. Тому її використовують для напівчистої обробки.

Інструментальна кераміка має такі фізико-механічні властивості:

Марка	Границі міцності на вигін, МПа	Границя міцності на вигін, МПа	Теплостійкість, С
ЦМ-332	325	5000	1400
ВО13	475	2850	1100
ВШ75	550	—	—
ВЗ	600	—	1100
ВОК60	650	2400	1100
ВОК63	675	—	—
ОНТ-20	700	2250	1200
Сілініт-Р	700	2500	1200

Інструментальна кераміка є досить крихкою, тому її застосування обмежене чистою обробкою з малими припуском та за повної відсутності нерівномірної товщини стружки. Заводи-виробники рекомендують наступні галузі застосування кераміки:

Матеріал заготовки	Твердість	Марка кераміки
Чавун сірий	НВ 140. . . 290	ВО13, ВШ75, ЦМ-332
Чавун ковкий	НВ 160. . . 270	ВО13, ВШ75
Чавун відбілений	НВ 400. . . 650	ВОК60, ОНТ20, ВЗ
Сталь конструкційна вуглецева	НВ 160. . . 230	ВО13, ВШ75, ЦМ-332
Сталь конструкційна легована	НВ 180. . . 230	ВО13, ВШ75, ЦМ-332
Сталь покращена	НВ 230. . . 280	ВШ75, ВЩК60,
Мідні сплави	—	Сілініт-Р
Нікелеві сплави	—	Сілініт-Р, ОНТ20

2.2.4 Надтверді матеріали

Надтвердими різальними матеріалами (НТМ) оснащують різці, торцеві фрези, розточувальні пластини, розвертки, зенкери для роботи з невеликими перетинами зрізу і високими швидкостями різання, оскільки міцність таких матеріалів низька, але високі твердість, тепло- і зносостійкість.

Алмаз, рубін, сапфір використовуються для обробки кольорових металів і твердих неметалічних матеріалів. Для обробки чорних металів вони непридатні, оскільки хімічно активні до заліза (низька зносостійкість при високих температурах різання).

Чорні метали, особливо значної твердості, обробляють нейтральними до заліза матеріалами на основі кубічного нітриду бору, так званими композитами. Можливість отримання гострої, без щербин, різальної кромки і висока зносостійкість НТМ роблять їх незамінними для робіт, де потрібна велика розмірна стійкість при роботі з високими швидкостями різання.

Надтверді матеріали виготовляють на основі кубічного нітриду бору (інколи їх називають кубонітами) та мають такі галузя застосування:

Ельбор	– тонке та чистове точіння без ударів, тонке фрезерування сталей та чавунів.
Ісміт	– чистова та напівчистова обробка сталей та чавунів будь-якої твердості.
Композит 05	– точіння без ударів загартованих сталей.
Композит 06	– чистове точіння загартованих сталей.
Гексаніт Р	– попереднє та чистове загартованих сталей у разі наявності ударів.
Томал 10	– чорнове точіння та фрезерування сталей і чавунів по кінці.
Композит 10Д	– чорнове точіння та фрезерування сталей і чавунів по кінці.
Кіробіт	– попереднє та чистове точіння загартованих сталей в умовах переривистого різання, фрезерування сталей та чавунів.

Через малий супротив на вигин (900 МПа проти 1400 МПа для твердого сплаву) композити значного розповсюдження не набули .

2.3 Термічне оброблення інструментальних сталей

До інструментальних сталей, які застосовують для виготовлення різальних інструментів, пред'являють підвищені вимоги за основними властивостями:

- твердість (HRC 60...65);
- теплостійкість (здатність зберігати твердість HRC 60 після чотиригодинного нагріву до відповідної температури);
- міцність та ударну в'язкість.

За технологічними властивостями інструментальні сталі повинні мати здатність до пластичності, добре оброблятися різанням у відпаленому стані та шліфуватись у загартованому стані.

Окрім класифікації інструментальних сталей за їх призначенням (галузю застосування) існує класифікація інструментальних сталей за теплостійкістю:

- нетеплостійкі (з теплостійкістю до 200°C);
- напівтеплостійкі (з теплостійкістю 250...400°C);
- теплостійкі (з теплостійкістю 600°C і вище).

Сталі кожної групи характеризуються одним типом структури та загальними особливостями зміцнюваної термічної обробки. Основні властивості інструментальних сталей такі:

Інструментальна сталь	Терлостійкість, °C	Твердість, HRC	Міцність, МПа	Ударна в'язкість, мДж/м ²
Нетеплостійкі вуглецеві та малолеговані	200...300	60...65	2000...3000	0,2...0,5
Напівтеплостійкі	250...400	60...64	3500...4500	0,25...0,35
Теплостійкі швидкорізальні	600...650	60...66	3000...3500	0,2...0,5

2.3.1 Нетеплостійкі сталі

Загалом нетеплостійкі сталі використовують для виготовлення металорізального інструмента, що працює в умовах, не відсутності розігріву різальної кромки:

- мітчики ручні і машинні;
- плашки ручні;
- розвертки ручні та машинні;
- надфілі та напилки.

Вуглецеві сталі

Вуглецеві сталі марок У7, У8, У9, У10, У11, У12, У13 і високоякісні У7А...У13А (ГОСТ 1435-99).

Температура гарту вуглецевих інструментальних сталей приймають у межах 760...820°C. Гарт вуглецевих сталей проводять у воді.

Низький відпуск проводять при 160...250°C протягом одного часу. Його мета – зняти внутрішні напруження.

Отже, для вуглецевих сталей:

Температура гарту, °C	Середа охолодження	Температура відпуску, °C
760...820	Вода	160...250

Вуглецеві сталі найчастіше використовують для всілякого деревооброблювального інструмента, слюсарного, а також для валків холодного деформування.

Малолеговані сталі

Малолеговані сталі, такі, що містять 3...5% легувальних елементів: 9Х1, ХВ4Ф, 9ХС, ХВГ, ХВСГ, 6ХВС і ін. (ГОСТ 5950-73).

Температура гарту легованих сталей на 20...50°C вище ніж вуглецевих сталей.

Гарт малолегованих сталей проводять у маслі. Низький відпуск проводять при температурі 160...250°C протягом одного часу. Його мета – зняти внутрішні напруження.

Отже, для малолегованих сталей:

Температура гарту, °C	Середа охолодження	Температура відпуску, °C
800...850	Масло	160...250

Сталі з марганцем (ХВГ, ХВСГ) використовують (через мінімальну деформацію при термообробці), для виготовлення різного осьового інструмента складної форми (протяжки, дорни, свердла) з перерізом до 50 мм.

2.3.2 Напівтеплостійкі сталі

Загалом це штампові сталі холодної деформації. Вони містять підвищену кількість вуглецю (до 2,2 %) і хрому (8...18 %), X12, X12ф1, X12ВМ, X12МФ (ГОСТ 5950-73).

Основна галузь застосування цих сталей – переважно складні штампи холодного деформування великих габаритних розмірів. Для різального інструмента ці сталі не використовують через наявність в структурі грубих карбідів хрому.

2.3.3 Теплостійкі сталі

Теплостійкі сталі називають швидкорізальними. Це високолеговані сталі, такі, що мають у своєму складі:

- вуглець (1...2%)
- вольфрам (до 18%)
- молібден (до 6%)
- ванадій (1...5%)
- хром (3...4%)
- кремній (2%).

У теперішній час знаходять застосування сталі марок Р6М5, Р6М3, Р9, Р12, Р18, Р6М5К5, Р12ф3, Р9к5 і ін. (ГОСТ 19265-73).

Гарт швидкорізальних сталей відбувається у маслі при температурі гарту 1200...1280°C. Відпал виконують тричі (кожного разу протягом однієї години з інтервалом у годину) при температурі 560°C.

Отже, для швидкорізальних сталей:

Температура гарту, °C	Середя охолодження	Температура відпуску, °C
1200...1280	Масло	560

Найпоширенішими в даний час є сталі помірної теплостійкості вольфрам-молібденові Р6М5, Р6М3 і вольфрамові сталі Р9, Р12 і Р18. Останні застосовують відносно рідко через дефіцит вольфраму.

2.4 Кріплення інструментального матеріалу

Спосіб кріплення інструментального матеріалу²¹ обумовлює багато показників працездатності інструмента:

²¹Мається на увазі різальний елемент виготовлений із певного інструментального матеріалу.

- міцність всієї конструкції та окремих різальних елементів;
- жорсткість конструкції, особливо збірної;
- вібростійкість (здатність протистояти вібраціям);
- стійкість (здатність забезпечувати працездатність протягом певного часу);
- продуктивність (здатність забезпечувати кінцевий результат за певний проміжок часу);
- економічність.

Економічність

Економічність напайних, наварів і клеєних конструкцій залежить від вибору форми і розмірів пластин, а також від їх розташування в гнізді корпуса.

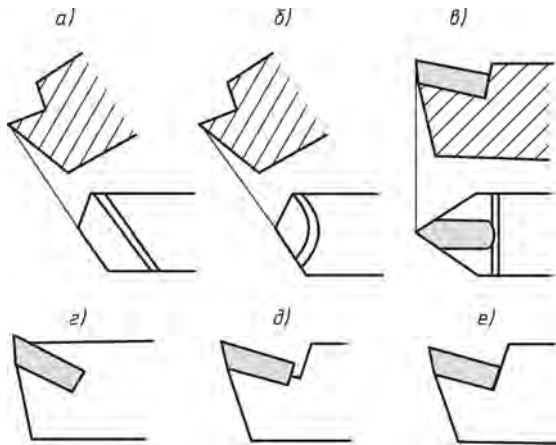


Рис. 2.3. Гнізда під різальну пластину:

- a* – відкрите гніздо; *б* – напів закрите гніздо; *в* – закрите гніздо;
г – гніздо врізне; *д* – напаявання частини висоти;
е – напаявання за всією висотою.

Від форми пластини залежить технологічність гнізда. Відкриті гнізда (рис. 2.3,*а*) у виготовленні дешевші, оскільки можна вести обробку декількох гнізд одночасно. Напівзакриті (рис. 2.3,*б*), закриті (рис. 2.3,*в*) і врізні (рис. 2.3,*г*) гнізда менш технологічні, але забезпечують міцніше утримання пластини, що дозволяє використовувати

пластини менших розмірів і зменшити витрати на інструментальний матеріал.

Різниця в усадці корпусу і пластини приводить до деформації (вигину) пластини, і внутрішні напруження, викликані нею, не тільки знижують зносостійкість твердого сплаву, але часто є причиною великого відсотка браку через розтріскування пластин.

Меншу величину залишкового напруження забезпечують гнізда, напайка в яких здійснюється не по всій висоті пластини (рис. 2.3,д), а ще краще – тільки по опорній поверхні (рис. 2.3,е).

Проте міцність повинна бути тільки достатньою, до надмірного збільшення міцності напайки прагнути не слід, оскільки із збільшенням площі поверхонь припаювання зростають залишкові напруження в пластині.

Перспективним способом приєднання пластин, є приклеювання термостійкими клеями. Клейове з'єднання сохне при температурі не вище 200°C. Це виключає появу внутрішніх напружень у пластині, що разом з демпфуючими і ізолюючими властивостями клею, в три рази підвищує стійкість клеєних твердосплавних інструментів в порівнянні з напайними²².

Економія твердих сплавів досягається випуском різальних елементів у вигляді пластин різної форми, які кріпляться на корпусах інструментів механічно, напайкою або приклеюванням. Цілком з твердого сплаву виготовляються інструменти дрібних розмірів або спеціального призначення. Мінералокерамічні пластини мають такі ж розміри, як і твердосплавні, і так же кріпляться.

Найбільшу міцність, жорсткість і вібростійкість мають цілісні і складені конструкції (зварні, навари, паяні, клеєні), а найбільшу економічність – збірні з механічним кріпленням різальних елементів, оскільки вони не тільки дозволяють економити інструментальний матеріал, але і допускають багаторазове використання корпусів, відновлення розмірів інструмента після переточувань, заміну окремих зубів після виходу їх з ладу і у багатьох випадках дозволяють регулювати розміри обробки.

Збірні конструкції з механічним кріпленням багатограних непереточуваних пластин (БНП) мають додаткові переваги, такі як:

- підвищена стійкість через усунення внутрішніх напружень (на-

²²Клей є діелектриком. Тому від розриває ланцюг електричного струму термо-ЕРС, що виникає під час роботи інструмента. Саме це і є основною причиною підвищення стійкості інструмента. Недоліком клейових з'єднань є невисока робоча температура – 300...600°C.

- притягу пластинам, що кріпляться пайкою);
- швидке введення в роботу нових різальних кромek шляхом повороту пластин на наступну грань;
- усунення витрат на переточування;
- скорочення транспортних витрат по перевезенню інструментів і зменшення площі складських приміщень для їх зберігання у зв'язку з скороченням кількості корпусів.

Не зважаючи на вищу вартість збірних інструментів витрати на його експлуатацію, віднесені до однієї обробленої деталі є – найнижчі. Тому збірні конструкції в умовах масового і серійного виробництва слід використовувати найширше, особливо з механічним кріпленням змінних різальних елементів.

Технологічність

Типові конструкції збірного інструмента фрезерної групи подано на рис. 2.5. Це найпростіші конструкції. Інколи їх називають складеними (вони складені з кількох простих елементів).

Збірні конструкції, такі як на рис. 2.6 є більш складними. Інколи це не просто механічне кріплення, а цілий вузол, який можливо виділити в окрему одиницю.

Складені конструкції за рис. 2.5 застосовують для простого інструмента. Це справедливо при незначному споживанні інструментів, коли економічність визначається в основному їх первинною вартістю. З цієї причини найбільш економічними інструментами разового користування можуть бути деякі види, цілком виготовлені з швидкорізальної сталі.

У разі зносу переважно по задній поверхні (робота з тонкими зрізами, обробка крихких матеріалів, що дають стружку надлому)

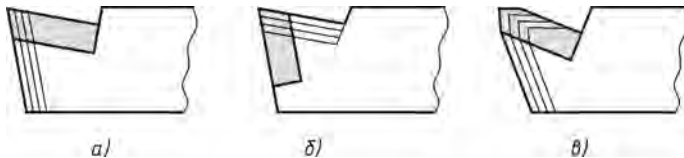


Рис. 2.4. Напаяні або клеєні пластини:

- a* – знос та переточування по задній поверхні;
- б* – знос та переточування по передній поверхні;
- в* – знос та переточування по передній і задній поверхням.

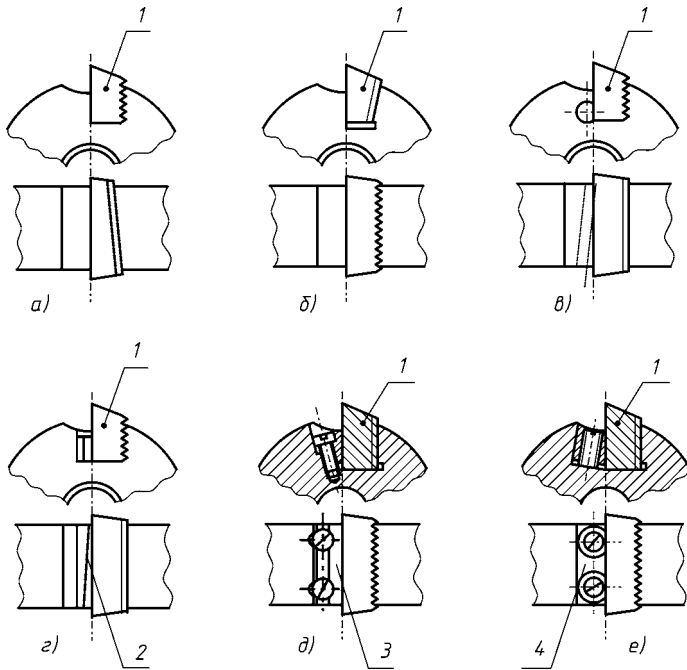


Рис. 2.5. Кріплення різальних елементів фрезерної групи

- 1* – змінна різальна пластина;
- 2* – клин затискний;
- 3* – клин із затиском зверху;
- 4* – клин із затиском знизу;
- а* – затиск горизонтальним рифленням;
- б* – затиск вертикальним рифленням;
- в* – пружний затиск горизонтальним рифленням;
- г* – затиск гладким клином;
- д* – затиск гвинтом та клином зверху;
- е* – затиск гвинтом та клином знизу.

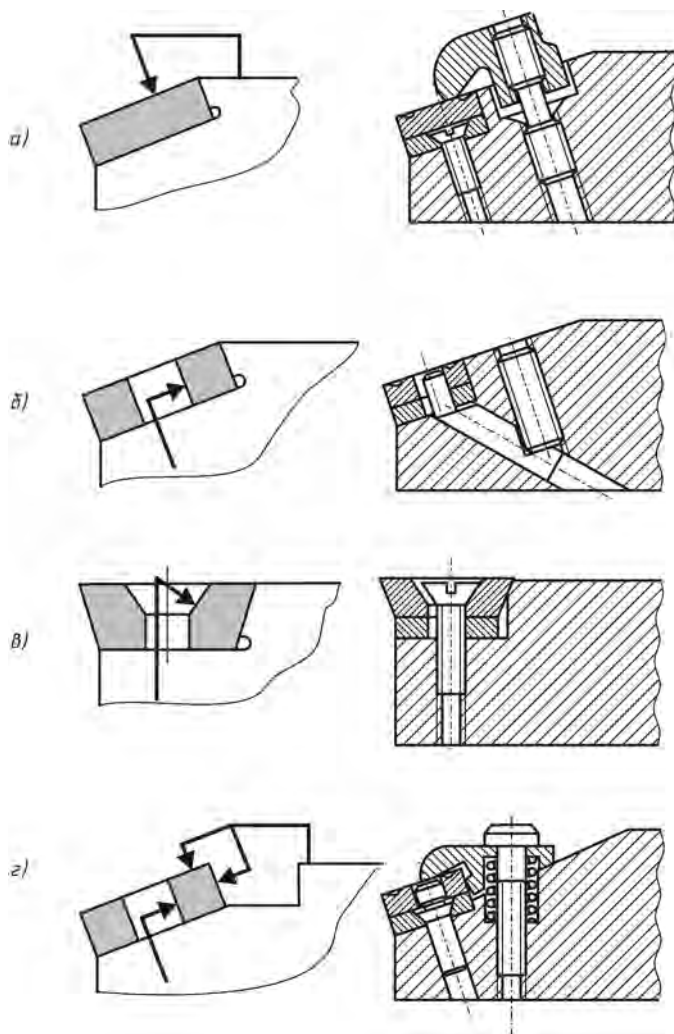


Рис. 2.6. Кріплення багатограних пластин

переточування виконують в основному по задній поверхні, і пластина тому повинна бути тонкою, але довгою (рис. 2.4,а).

Якщо знос інструмента протікає здебільшого по передній поверхні (обробка матеріалів з великими перетинами зрізу при зливній стружці), то переточування виконуються в основному по передній поверхні. Пластина при цьому повинна бути короткою, але товстою. Іноді її розташовують уздовж задньої грані (рис. 2.4,б).

У разі комбінованої схеми переточування (по передній і задній поверхнях) пластину врізають в корпус йод кутот, більшим, ніж передній кут, забезпечуючи тим самим економне витрачання пластини і полегшуючи заточування по передній поверхні, (рис. 2.4,в). Задовільні результати забезпечує кут нахилу пластини, рівний передньому куту плюс 5° .

Для інструментів, які використовують різальні елементи із надтвердих матеріалів застосовують конструкції зображені на рис. 2.7.

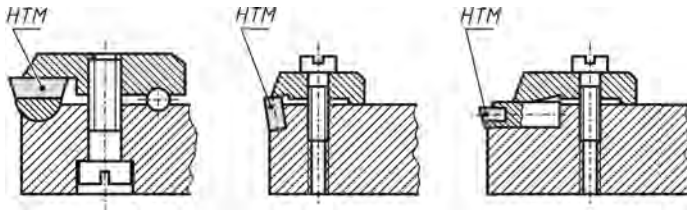


Рис. 2.7. Кріплення надтвердих інструментальних матеріалів:
НТМ – надтвердий матеріал.

Особливістю цих конструкцій є те, що безпосередньо різальний елемент спочатку закріплюють в спеціальному допоміжному елементі, а потім вже цей елемент кріплять до інструмента.

Узагальнення

Висока економічність припускає економію дорогих інструментальних матеріалів при виготовленні інструментів. З відомих способів економії швидкорізальних сталей використовуються наступні:

- механічне кріплення різальних елементів в корпусах з конструкційної сталі;
- приварювання робочої частини до корпусу виготовленого із конструкційної сталі;

- напаявання пластин швидкорізальної сталі до оправки різців (цільні зварні різці);
- приклеювання пластин швидкорізальної сталі термостійкими клеями замість напайки;
- наплавлення зубів багатолезових інструментів швидкорізальною сталлю. Однак, унаслідок зниженої стійкості таких інструментів через дефекти мікроструктури сталей цей спосіб економічно виправдовує себе тільки при відновленні відпрацьованих інструментів;
- точне литво по моделях інструмента малого розміру але складної форми, наприклад, кінцевих фрез. Використовується рідко через зниженої стійкості інструментів внаслідок дефектів литва;
- гаряче гідродинамічне витискування заготовок розверток, зенкерів, мітчиків і інших стрижневих інструментів (так зване мундштучне пресування).

Зауваження 1. Зважаючи на всезростаючий дефіцит інструментальних матеріалів у сучасній інструментальній промисловості проявляється стійка тенденція до проектування збірного інструмента.

Багато закордонних корпорацій, котрі займаються виготовленням інструментальних матеріалів, застосовують возвратну політику своєї продукції.

Суть цієї політики полягає в тому, що корпорація за суто символічну плату здійснює обмін зношених різальних елементів на нові. Пілотною корпорацією в цьому напрямку є Sandvik Coromant, яка заснувала цілу галузь поновлення працездатності інструмента шляхом його централізованої заміни.

Питання для самоконтролю

1. Методика вибору інструментального матеріалу.
2. Способи кріплення інструментального матеріалу на інструменті фрезерної групи.
3. Способи закріплення різальних елементів в корпусах інструментів токарної групи.
4. Форми гнізд йод напайку пластин твердого сплаву. Їх порівняльні переваги і недоліки.
5. Кріплення надтвердих різальних елементів.
6. Галузь застосування твердих сплавів групи ВК?
7. Галузь застосування твердих сплавів групи ТК?
8. Галузь застосування твердих сплавів групи ТТК?
9. Кріплення різальних пластин до інструмента при зносі по передній поверхні.
10. Кріплення різальних пластин до інструмента при зносі по задній поверхні.
11. В чому полягає перевага багатогранних різальних пластин перед звичайними напаяними?
12. Яку конструкцію мають різальні пластини з рифленням?
13. Основна галузь застосування вуглецевих інструментальних сталей?
14. Основна галузь застосування легованих інструментальних сталей?
15. Основна галузь застосування швидкорізальних інструментальних сталей?

3 ПРОЕКТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТІВ

3.1 Мета, завдання і методи проектування

Мета проектування

Метою проектування є створення конструкції інструмента, оптимального за критерієм мінімуму витрат на операції його використання.

Завдання проектування

Завданням проектування є розробка конструкції складових частин інструмента (робоча, приєднувальна, напрямна) шляхом оптимальних рішень з вибору елементів цих частин.

Детально завдання проектування формують у вигляді алгоритму проектування. Може бути два, принципово різних, підходів або методів проектування:

- аналоговий метод;
- метод компіляції.

Аналоговий метод

Аналоговий метод проектування полягає в пошуку аналогів і в створенні, на їх основі, кращої конструкції інструмента шляхом використання кращих рішень, закладених в цих аналогах.

Отже, за методом аналогів конструктор здійснює пошук конструкцій за аналогією до яких розробляє новий інструмент. Тобто конструктор вибирає “такий самий” інструмент.

Зауваження. По суті результатом аналогового методу є “теж саме, що і було”. Цей метод не дуже сприяє появі чогось нового, адже – “все, як завжди”.

Метод аналогів, це по суті – “нічого нового,
все як завжди”.

Метод компіляції

Метод компіляції проектування припускає створення конструкції з оптимальних, загальних для всіх інструментів елементів і методів вирішення конкретних завдань.

Отже, за методом компіляції конструктор komponує новий інструмент, як результат компіляції вже відомих (часто стандартних) конструкцій.

Метод компіляції дозволяє створювати принципово нові конструкції, імовірно кращі за формою і властивостями. Його недолік – відсутність упевненості в тому, що без доопрацювань за наслідками випробувань, інструмент буде цілком працездатним. Головна перевага методу полягає в тому, що він плідніший.

Метод компіляцій, це по суті – модульний метод проектування, де модулями є одиничні елементи конструкції (різальний елемент, форма робочої поверхні, схема різання і ін.) і способи вирішення окремих завдань (розрахунок форми різальної кромки, спосіб відведення стружки і так далі).

Зауваження. Недоліком методу компіляції є спокуса використовувати вже відомі конструкції, хоча і в різних варіантах (але вже відомі конструкції).

Метод компіляції, це по суті – “візьмемо старе, та зробимо щось нове”.

Обидва методи мають право на існування. Аналоговий метод простіший, надійніший. Більше упевненості в працездатності конструкції, якщо аналоги пройшли виробничу перевірку. Він найбільш прийнятний для пристосування конструкції інструмента до конкретних умов роботи.

3.2 Технічні вимоги до інструмента

Для зменшення можливих недоробок і спрощення проектно-конструкторських робіт, завдання проектування доцільно вирішувати в певній послідовності, відповідно до приведеного нижче алгоритму. Цю послідовність оформлюють у вигляді переліку вимог до проектуємого інструмента.

Розробка технічних вимог до інструмента включає послідовність наступних етапів за рис. 3.1.

Етап 1 – твердість

Твердість складових частин інструмента. Робоча і хвостова частини інструмента мають різну твердість та виготовлені із різних матеріалів.

Отже, проблемою є поєднання матеріалів різної твердості, які не завжди можливо з'єднати зварюванням або пайкою і які потребують різної термічної обробки.

Окрім цього, твердість різального ле- за залежить від оброблюваного матеріалу, що звужує можливі варіанти вибору ін- струментального матеріалу.

<i>Твердість</i>
<i>Відхилення</i>
<i>Шорсткість</i>
<i>Різальна здатність</i>
<i>Випробування</i>
<i>Вказівки</i>

Рис. 3.1. Вимоги до інструмента

Етап 2 – відхилення

Відхилень розмірів і точність розташування складових частин, поверхонь і різальних кромek. Інструмент повинен забезпечувати певну точність утворення поверхонь деталі. Це можливо досягти тільки в тому разі, як сам інструмент виготовлений достатньо точно. У протилежному випадку отримати точну деталь буде неможливо²³.

Етап 3 – шорсткість

Шорсткості робочих, напрямних і інших поверхонь. Шорсткість різального ле- за має суттєвий вплив на шорсткість обробленої по- верхні та період стійкості інструмента. Вважають, що шорсткість робочих поверхонь має бути в межах Ra 0,63...1,125.

Етап 4 – різальна здатність

Необхідно розглянути декілька методів підвищення різальної зда- тності, якщо вони є переважними з погляду формування якості ін- струмента. Окрім цього необхідно враховувати, що різальна зда- тність ле- за залежить від методів його виготовлення.

Наприклад, ножі звичайні і ножі “булатні” можуть бути виготов- лені з одного матеріалу, але їх різальні властивості значно відрізня- ються між собою.

²³Неможливо отримати високоточну деталь використовуючи в якості інструмента со- киру. Хоча деякі “технологи” вважають, що головне технологія, а інструмент – це щось другорядне, забуваючи, що коли використовують сокиру, то і технологій така ж – сокирна.

Етап 5 – випробування

Методи випробування в роботі (при необхідності). Ці методи повинні бути якомога наближені до реальних умов роботи інструмента, інакше результати випробувань можуть виявитись “дещо несподіваними”.

Етап 6 – вказівки

Вказівок про маркування, консервацію, пакування та зберігання інструмента.

Слід врахувати, що ефективне застосування верстатів з ЧПК може бути досягнуто лише у разі використання різального інструмента, що відповідає підвищеним вимогам за стійкістю, надійністю, жорсткістю та іншими показниками.

Приклад 3.1 (Невдала автоматизація).

Якщо різець швидко зношуватиметься і його знадобиться часто змінювати, то ефект автоматизації, зв’язаний із застосуванням програмного управління, значно знизиться, а то і зовсім буде зведений нанівець.

Висока якість інструмента для роботи на верстатах з ЧПК закладається починаючи з розробки його конструкції.

3.2.1 Токарна група

При створенні різців для верстатів з ЧПК доцільно враховувати наступні умови:

- використовувати пластини раціональної форми за рис. 3.2, що забезпечують можливість оброблення одним різцем максимальної кількості поверхонь деталі;
- різці повинні мати одні і ті ж основні координати для зручності програмування технологічних операцій незалежно від кутів різання;
- інструмент повинен мати підвищену геометричну точність в порівнянні з інструментом для звичайних верстатів;
- необхідно забезпечити раціональне утворення і відведення стружки в процесі різання;

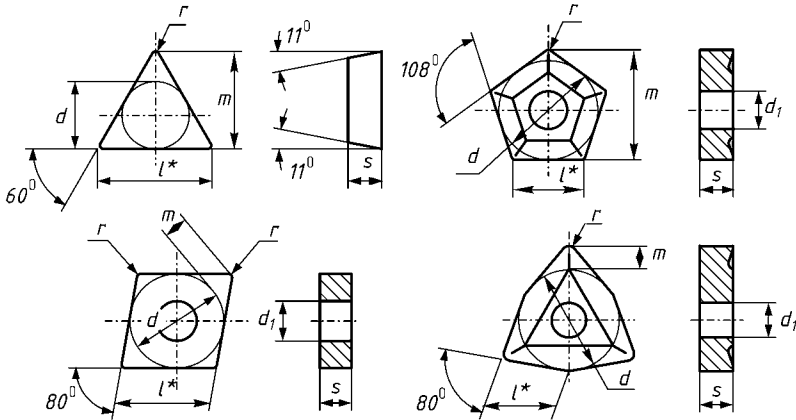


Рис. 3.2. Конструктивні елементи різальних пластин

- повинна бути висока якість заточування різальних кромки;
- різальна частина різця повинна, мати підвищену жорсткість і міцність, зносостійкість і розмірну довговічність.

Подібні технічні вимоги пред'являються до всіх різальних інструментів, призначених для роботи на верстатах з ЧПК.

3.2.2 Свердлувальна група

Конструктивна відмінність свердел для верстатів з ЧПК (рис. 3.4) від звичайних (рис. 3.3), полягає в зменшенні розмірів по довжині їх робочої частини, жорсткіших допусках на відхилення від циліндричності серцевини і осьове биття різальних кромки, радіальне биття по стрічках і інших геометричних параметрах. Не допускається наявність зворотного конуса на циліндричних хвостовиках.

Свердла для верстатів з ЧПК зазвичай використовують в якості інструментального матеріалу пластини твердого сплаву. Ці пластини (різальні елементи) закріплюють у корпус свердла виготовлений із покращеної конструкційної сталі



Рис. 3.3. Звичайне спіральне свердло



Рис. 3.4. Свердло для верстатів з ЧПК

Для обробки порівняно великих отворів (діаметром 25...80 мм) у чавунних і сталевих деталях рекомендуються перові свердла (рис.3.5), що відрізняються підвищеною (в порівнянні із спіральними свердлами) жорсткістю і міцністю конструкції.



Рис. 3.5. Свердло із змінною пластиною

Розвертки, вживані на верстатах з ЧПК (рис.рис.3.7), мають дещо складнішу конструкцію ніж звичайні стандартні (рис.3.6). повинні бути ретельно доведені. Для отворів за *IT8* рекомендуються регульовані твердосплавні, а для отворів за *IT6...IT7* твердосплавні однолезові нерегульовані розвертки.



Рис. 3.6. Звичайні розвертки



Рис. 3.7. Розвертка для верстатів з ЧПК

Для напівчистового і чистового розточування на верстатах з ЧПК, включаючи багатоопераційні верстати, доцільно застосовувати розточувальні головки з точним (мікрометричним) регулюванням вильоту різця (рис.3.8).

При підрізуванні торців і обробці ступінчастих отворів застосовують інструмент з пластинчастими двосторонніми різцями, які можуть забезпечити перпендикулярність поверхонь до 0,01 мм.



Рис. 3.8. Розточувальна головка

3.2.3 Фрезерна група

Торцеві насадні фрези зі вставними ножами, оснащені пластинками з твердого сплаву (рис. 3.9), повинні на відміну від стандартних забезпечувати:

- підвищену точність поверхонь посадкового отвору і опорного торця;
- биття різальних кромки не повинно перевищувати 0,03 мм для двох суміжних зубів і 0,06 мм для двох протилежних зубів (за стандартом відповідно 0,04 і 0,08 мм);
- різниця відстаней будь-якої точки різальної кромки від опорної торцевої поверхні не повинна перевищувати 0,04 мм.

Геометричні параметри різальної частини (табл. 1.3) повинні забезпечити нормальну роботу інструмента на достатньо високих режимах різання.

При виборі торцевих фрез для верстатів з ЧПК перевага віддається інструменту з механічним кріпленням багатограних твердосплавних пластинок. Кінцеві швидкохідні фрези також повинні мати підвищену точність і вищу надійність в роботі.



Рис. 3.9. Фрези для верстатів з ЧПК

3.2.4 Допоміжний інструмент

В якості допоміжного інструмента, призначеного для кріплення різального інструмента, на верстатах з ЧПК, використовують:

- точні оправки до насадних торцевих фрез;
- прецизійні цангові патрони для кріплення інструмента з циліндровими хвостовиками;
- перехідні втулки для інструмента з конусним хвостовиком або спеціальні перехідні державки для кріплення інструмента з циліндровими регульованими хвостовиками;
- жорсткі розточувальні оправки;
- свердлувальні трикулачкові патрони (для кріплення свердел з хвостовиками діаметром 1...13 мм) та ін.

Табл. 3.1. Граничні відхилення розмірів різальних пластин

Параметр	Значення, мм	Класи допусків									
		літерне позначення									
		U	$M(D)$	K	G	E	C	A			
		цифрове позначення									
Діаметр вписаного кола d , мм	до 10 10,0...12,7 12,7...22,25 22,25...30,0	1	2	7	3	5	4	6			
		±0,08	±0,05	±0,05	±0,025	±0,025	±0,025	±0,025	±0,025	±0,025	
		±0,13	±0,08	±0,08							
		±0,18	±0,10	±0,10							
		±0,25	±0,13	±0,13							
Розмір t при діаметрі d , мм	... 10 10,0...12,7 12,7...22,25 22,25...30,0	±0,13	±0,11	±0,13 ±0,025 ±0,025 ±0,013							
		±0,20	±0,15								
		±0,27	±0,18								
		±0,38	-								
		Товщина s , мм		±0,13	±0,13	±0,025	±0,025	±0,13	±0,025	±0,025	±0,025
Радіус при вершині r , мм		±0,10	±0,10	-	-	±0,10	±0,01	±0,10	±0,10	±0,10	
Діаметр отвору d_1 , мм		±0,13	±0,10	-	-	±0,10	±0,10	±0,10	±0,10	±0,10	
Відхилення від симетричності отвору відносно задніх поверхонь		0,100	0,100	0,100	0,100	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	
Задній кут α , мін		±30	±30	±20	±20	±20	±20	±20	±20	±20	

Для верстатів з ЧПК рекомендується застосовувати стандартні або спеціальні різальні інструменти та кріпильні елементи, які уніфіковані з цим оснащенням.

Досвід експлуатації верстатів з ЧПК свідчить про доцільність використання на них для закріплення заготовок швидкозмінного оснащення, зокрема універсально-силових пристроїв і універсально-складальних пристроїв²⁴, що відрізняються підвищеною точністю. Наприклад для верстатів фрезованої та токарної груп широко застосовують допоміжні перехідні модулі за рис. 3.10.



Рис. 3.10. Допоміжні змінні модулі

3.3 Структурна схема інструмента

Схема різання визначає структурну схему інструмента, яка у свою чергу впливає на всю конструкцію інструмента. Проектування інструмента полягає в проектуванні інструмента, який задовольняє конкретним технічним вимогам. Конструкція інструмента створюється шляхом компіляції відомих рішень.

Структурна схема інструмента

Сукупність елементарних ланок об'єкту і зв'язків між ними, один з видів графічної моделі. Під елементарною ланкою мається на увазі частина об'єкту, системи управління і т. д., яка реалізує елементарну функцію.

Структурна схема інструмента визначаються порівняно легко. У конкретних, широко вживаних інструментів (наприклад, різців, фрез, протяжок) конструктивні форми добре відпрацьовані і відомі. Задача проектування полягає в оптимізації конструкції шляхом використання окремих елементів²⁵.

²⁴Універсальні складальні пристрої – це набір конструкцій із яких можливо скласти будь-який пристрій (за принципом Лего).

Такі пристрої широко вживаються в автоматизованому виробництві через універсальність. Їх виготовляють спеціалізовані підприємства, тому вони дешевші ніж звичайні.

²⁵Ці елементи не завжди мають бути "найкращими". Головним є те, що спроектована із них конструкція має бути дійсно найкращою.

Загалом структурну схему комбінованого інструмента визначають з умов забезпечення одночасної обробки максимальної кількості поверхонь заготовки. Однак це не завжди можливо. Різні поверхні заготовки можуть потребувати застосування різного інструмента (наприклад, токарного та осьового). Сумістити різні за типом інструмента в одному комбінованому вдається не завжди.

Розроблена структурна схема (компоновка) комбінованого інструмента або наладки в цілому повинна задовольняти всім вимогам, що пред'являються до інструмента взагалі.

При розробці схеми комбінованого інструмента особливу увагу слід звернути на технологічність виготовленні та експлуатації всієї конструкції. Особливу увагу необхідно приділити проблемі відведення стружки із зони різання, що викликає значні труднощі саме для комбінованого інструмента.

Цей етап проектування інструмента має закінчуватись ескізним проектом, що виявляє принципову схему інструмента.

Загальна схема проектування різального інструмента наведена на рис. 3.11. Елементи наведені на ній мають такий зміст.

Проблема

Це проблемне технічне завдання. В ньому вказано, яким чином необхідно обробити заготовку та всі технологічні параметри і вимоги до готової деталі та майбутнього інструмента. Проблема, це те що необхідно вирішити і що має забезпечити проектований інструмент.

Попередня модель

Це попередній опис майбутнього інструмента, тобто визначають, що взагалі має представляти собою інструмент (свердло, сокира, різець ...).

Попередня модель дозволяє звузити пошук конструкцій або типів інструмента. Практично, це відповідь на питання – а що взагалі необхідно проектувати.

Інформаційний пошук

Інформаційний пошук, це пошук джерел інформації (де шукати) та вивчення стану питання. На цьому етапі вивчають,

- що діється у світі за проблемною тематикою;
- що вже зроблено іншими;
- які проблеми залишились відповідно до розроблюваного інструмента.

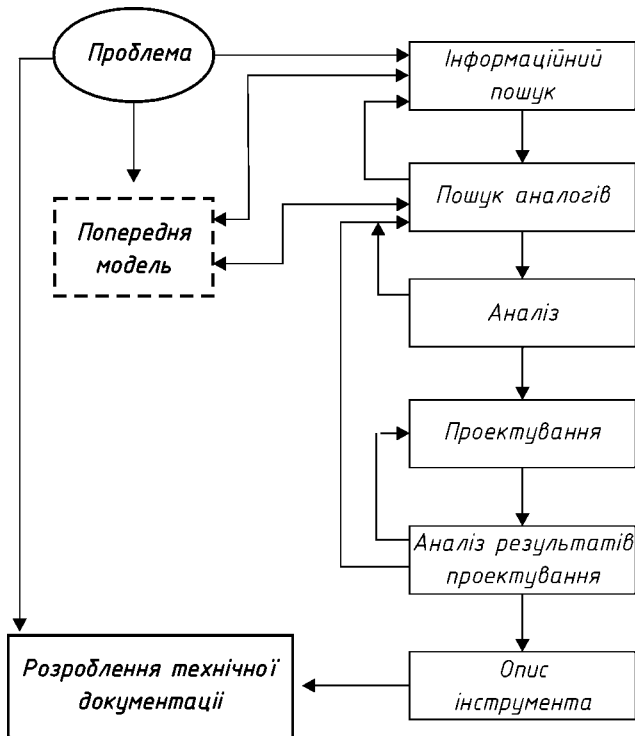


Рис. 3.11. Схема проектування інструмента

Основна проблема з якою стикається розробник, це неповне інформаційне забезпечення.

Пошук аналогів

На цьому етапі відбувається пошук конструктивних аналогів відповідно до поставлених задач. На практиці неможливо здійснити продуктивне проектування різального інструмента не вивчивши аналогів, що існують.

Вивчивши аналоги приступають до їх корегування та компіляції. На цьому етапі відбувається тільки попереднє конструювання. Інструмента ще не існує, але вже є його принципова схема або конструкція.

Аналіз

На цьому етапі здійснюють детальний аналіз аналогів та інших конструктивних рішень. Особливістю цього етапу є те, що на основі проведеного аналізу можливо повернення до деяких попередніх рішень та пошуків аналогів. Відбувається уточнення та звуження кола конструктивних рішень.

Аналіз результатів проектування

Загалом це відповідь на питання – а що було отримано в результаті проектування, наскільки результат проектування відповідає технічному завданню. Тут виконують уточнення та оптимізація елементів конструкції інструмента.

Опис інструмента

Здійснюють опис розробленого інструмента, його технічних характеристик та параметрів. Визначають рекомендовані режими різання (вони повинні бути не гіршими за тими, що є технічному завданні). Це підготовчий етап до остаточного оформлення технічної документації.

Розроблення технічної документації

Це остаточне розроблення технічної документації відповідно до нормативів, які існують. Вказують вимоги до експлуатації, транспортування та зберігання розробленого інструмента.

3.4 Послідовність проектування інструмента

Проектування різального інструмента доцільно виконувати поетапно, у певній послідовності. Кожний наступний етап проектування

базується на результатах попереднього. Така послідовність дає можливість уникнути суттєвих помилок і значно скорочує витрати на проектування інструмента.

3.4.1 Підготовчі дії

Головною метою (задачею) підготовчих дій для проектування є вивчення умов в яких буде працювати майбутній інструмент. Найголовнішими з них є:

- матеріал і твердість заготовки;
- верстатне обладнання;
- режим і умови різання;
- якість обробки;
- тип виробництва (масове, одиничне, серійне).

Зауваження. Результатом підготовчих дій має бути відповідь на питання – навіщо призначений майбутній інструмент?

Після проведення підготовчих дій переходять до формулювання технічного завдання.

3.4.2 Технічне завдання на проектування

Докладне технічне завдання конструктор-інструментальник має в разі адресного проектування, при оснащенні технологічного процесу виготовлення деталі в умовах масового і багатосерійного виробництва.

Завдання видає інженер-технолог у вигляді операційної технологічної карти. В ній вказані:

- тип інструмента;
- верстат, на якому він використовується;
- режими різання (швидкість, глибина різання, подача);
- характеристика оброблюваної деталі (матеріал, твердість, точність і якість оброблених поверхонь).

У такому випадку робота конструктора-інструментальника спрощується.

Продуктивність обробки задана режимом різання. Тому при доопрацюванні стандартної конструкції потрібного інструмента, його

адаптації до конкретних умов роботи або при проектуванні оригінального інструмента, конструктору немає необхідності прагнути до максимальної продуктивності.

Порівняно легко забезпечуючи задану продуктивність вибором відповідного різального матеріалу, конструктор вирішує тільки питання, пов'язані з енергоємністю і економічністю процесу різання. Одночасно необхідно перевірити:

- чи відповідають паспортним значенням посадкові розміри, наявного в цеху верстата, на якому буде встановлено інструмент;
- і пов'язати конструкцію інструмента із затискним пристроєм на заданій технологічній операції.

Проте, докладне технічне завдання конструктор має не завжди. Зазвичай така ситуація має місце під час:

- проектування інструмента для нового методу обробки;
- проектування інструмента масового користування (невідомо, на яких верстатах використовуватиметься інструмент, в яких умовах працюватиме, з яких матеріалів і з якою точністю оброблятимуться деталі).

У таких випадках конструктор розробляє технічне завдання самостійно, орієнтуючись на середні умови роботи.

3.4.3 Проектування робочої частини

Робоча частина інструмента є його головною частиною. Саме робоча частина виконує основну роботу по утворенню майбутньої деталі.

Проектування робочої частини інструмента доцільно виконувати у такій послідовності (рис. 3.12).

Матеріал

Вибір різального матеріалу і способу його закріплення. Основним критерієм є працездатність інструмента обумовлена його періодом стійкості.

Схема різання

Вибір схеми різання і розробка структурної схеми інструмента. Одну і ту ж поверхню можливо утворити різними схемами видалення припуску. Отже, схема різання повинна забезпечувати найбільшу

довговічність інструмента та одночасно необхідну якість поверхневих шарів деталі.

Геометрія леза

Вибір геометричних параметрів: форми робочих поверхонь, структури різального контуру (головних, допоміжних, перехідних різальних кромek) і кутів загострування.

Під час вибору (призначення) геометричних параметрів різального леза інструмента, необхідно враховувати не тільки питання суто теорії різання, але і чисто конструктивні міркування.

Заточування різального леза із певними кутами може мати суто технологічні труднощі. Наприклад, інструмент має значну кількість різальних елементів (звичайна протяжка може мати 100...150 різальних лез). У такому разі призначати кути, що відрізняються один від одного на декілька градусів – недоцільно.

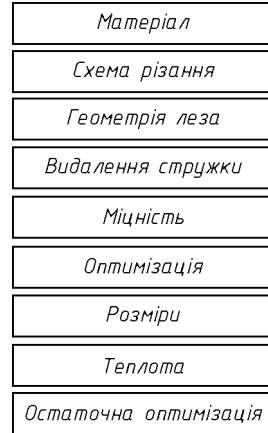


Рис. 3.12. Послідовність проектування

Видалення стружки

Вибір способів утворення і відведення стружки із зони різання. Цей етап є одним із головних в умах масового виробництва. Неприпустимо, коли для видалення стружки необхідно зупиняти процес оброблення.

Міцність

Розрахунок різального леза і тіла інструмента на міцність і жорсткість. Ці параметри забезпечують не тільки працездатність інструмента, але і точність оброблення деталі.

Оптимізація

Оптимізація кроку, розмірів і форми зубів, а також стружкових канавок інструмента.

Розміри

Визначення розмірів, форми і точність робочої частини і різальних контурів.

Теплота

Вибір способів відведення теплоти із зони різання або способів охолодження інструмента в зоні різання.

Остаточна оптимізація

Остаточна оптимізація конструкції робочої частини за мінімумом витрат. На результати цього етапу має значний вплив обсяг випуску продукції, чим він більший, тим детальнішою має бути остаточна оптимізація.

Поетапна оптимізація

Поетапну оптимізацію здійснюють на кожному етапі проектування. Кожне наступне рішення базується на попередньому “оптимізованому”, як на базовому. Однак треба враховувати, що приєднання оптимальних елементів по кожному етапу не завжди забезпечує оптимальне поєднання та може бути конструктивно нездійсненно.

3.4.4 Проектування приєднувальної частини

Приєднувальна частина інструмента поєднує інструмент і верстат. Інструмент періодично доводиться змінювати в процесі роботи, тому час на його заміну не повинен бути занадто великим.

Приєднувальні частини верстатів мають стандартні параметри, яким повинен відповідати інструмент. Під час розробки приєднувальної частини необхідно враховувати такі параметри (рис. 3.13).

Спосіб приєднання

Способи приєднання інструмента до верстата можуть бути досить різними. Залежно від вимог це можуть бути:

- рухливість або нерухомість з’єднання інструмент/верстат;
- швидкість зміни;
- можливість регулювання розмірів;
- точність та жорсткість.

<i>Спосіб приєднання</i>
<i>Форма</i>
<i>Матеріал</i>
<i>З’єднання</i>
<i>Розрахунок</i>

Рис. 3.13. Проектування приєднувальної частини

Загальною вимогою є застосування стандартних способів з’єднання інструмента з верстатом.

Форма

Форми базових поверхонь посадкових місць верстата. Зазвичай вони стандартизовані, що полегшує їх розроблення (конструювання) інструмента.

Матеріал

Матеріал приєднувальної частини як верстата, та і інструмента. Зазвичай приєднувальні частини верстата виготовлені із звичайної конструкційної сталі, а інструмента із інструментальної або покращеної (у разі конструювання збірного інструмента).

З'єднання

Спосіб з'єднання з робочою частиною (ручний, автоматизований, гвинтами або клином та ін.). У переважній більшості випадків він залежить від типу виробництва (масове, серійне, одиничне).

Розрахунок

Розрахунок приєднувальної частини на передачу зусилля різання, міцність, жорсткість і точність базування. Цей етап необхідно проводити у будь-якому випадку, незалежно від типу виробництва.

До стандартних приєднувальних частин слід віднести конуси Морзе свердлувальних верстатів та конуси 7:24 фрезерних верстатів. Не є доцільним застосовувати оригінальні та нестандартні приєднувальні конструкції.

Конструктивні та геометричні параметри²⁶ стандартних конусів Морзе, що застосовують на верстатах свердлувальної групи, наведено у табл. 3.2.

Конструктивні та геометричні параметри перехідних конусів від фрезерних верстатів до свердлувальних наведено у табл. 3.3.

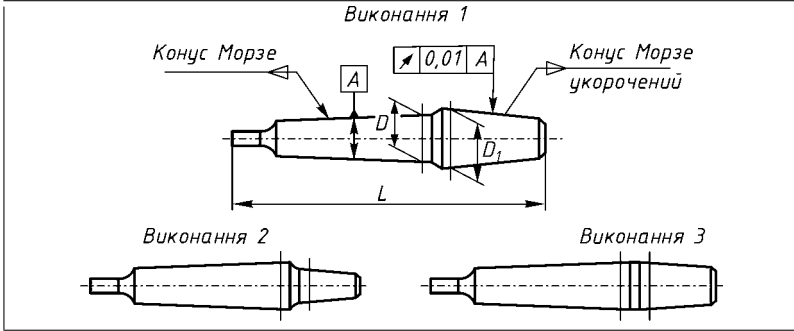
3.4.5 Проектування напрямної частини

Напрямна частина інструмента призначена для спрямування (орієнтації) інструмента відносно оброблюваної деталі. Зазвичай це питання співвідносності.

Здебільшого така потреба виникає під час свердління точних отворів або розвертування чи утворення різьб.

²⁶Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну. Частина I / В. І. Солодкий, Ю. І. Адаменко, В. В. Вовк, Н. В. Мініцька. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – С 133 - 134.

Табл. 3.2. Оправки з конусом Морзе для свердлильних патронів
(ДСТУ ГОСТ 2682:2008)



Конус Морзе укорочений	Виконання	Конус Морзе	Допуск	D , мм	D_1 , мм	L , мм
B16	1	1	AT7	12,065	15,733	99
	2	2	AT6	17,780		112
		3	AT8	23,825		134
		4	AT7	31,267		156
B18	1	1	AT6	12,065	47,780	107
	3	2	AT6	17,780		120
	2	3	AT7	23,825		140
		4	AT8	31,267		164
		5	AT7	44,399		196
B22	1	2	AT6	17,780	21,793	130
	2	3	AT8	23,825		149
		4	AT7	31,267		176
		5	AT8	44,399		206

Проектування напрямної частини доцільно виконувати у такій послідовності за рис. 3.14, по чергово вирішуючи кожний етап.

Необхідність

Оцінка необхідності напрямної частини. Наявність напрямної частини інструмента не є обов'язковою умовою його працездатності. У більшості випадків доцільно звернути увагу на верстат, ніж конструювати напрямну інструмента.

Треба розуміти, що напрямна – це додаткові витрати на виготовлення інструмента. Досить часто для нормального направлення інструмента доцільніше виконати удосконалення конструкції технологічного пристрою.

<i>Необхідність</i>
<i>Спосіб</i>
<i>Матеріал</i>
<i>Місце</i>
<i>Конструкція</i>

Рис. 3.14. Проектування напрямної частини

Спосіб

Вибір способу напрямку інструмента в роботі. Напрямок інструмента можливо здійснювати за допомогою втулок, накладок, допоміжних елементів, тощо. Загалом чим простіша конструкція напрямної частини, тим надійніша її робота.

Матеріал

Вибір матеріалу напрямної частини. Зазвичай це інструментальна сталь (або твердий сплав). У той же час інколи доцільно застосовувати неметалеві матеріали, наприклад, пластмаси або композити на їх основі.

Місце

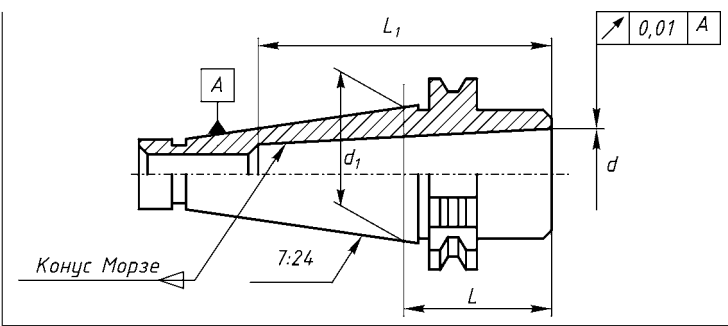
Вибір місця розташування напрямної частини і способу їх з'єднання з рештою частин інструмента. Найпростіше розташувати напрямну частину перед робочою частиною інструмента.

Але у випадках підвищеної точності напрямних може бути декілька, одна спереду різальної частини інструмента, друга позаду, біля хвостовика.

Конструкція

Конструктивне оформлення напрямної частини. У загальному випадку конструкція напрямної частини повинна мати можливість налаштування на певний розмір. Ця вимога пов'язана з тим, що напрямні частини інструмента піддаються значному зносу.

Табл. 3.3. Втулки перехідні з зовнішнім конусом 7:24 і внутрішнім конусом Морзе



Конус 7:24	Конус Морзе	d_1 , мм	d , мм	L , мм	L_1 , мм
30	1	31,75	12,065	50	56
	2		17,780		67
40	1	44,45	12,065	50	56
	2		17,780		67
	3		23,825	65	84
	4		31,267	95	107

Найчастіше в якості напрямних для осьового інструмента застосовують кондукторні втулки (рис. 3.15). У такому випадку немає потреби робити на інструменті додаткові елементи, напрямним елементом є втулка. Однак така конструкція має суттєвий недолік – значний знос інструмента, який треться по поверхні втулки.

Напрямні втулки виготовляють із інструментальних вуглецевих сталей У10 або У12 твердістю HRC 60...64. Втулки досить швидко зношуються, тому доцільно робити їх дешевими.

У разі оброблення деталей за IT7 кондукторну втулку запресовують в елемент пристрою (рис. 3.15,а).

Якщо передбачається зміна кондукторної втулки через певний промок часу, то її виконують за рис. 3.15,б і закріплюють притисковими гвинтами.

Змінні втулки (рис. 3.15,в) застосовують під час послідовного оброблення отвору різними інструментами (наприклад, свердло – зенкер – розвертка).

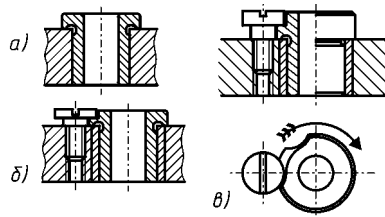


Рис. 3.15. Втулки кондукторні

3.4.6 Узагальнення

Шлях проектування – не прямий, не гладкий і не безконфліктний. Це шлях послідовного вирішення завдань, шлях руху вперед і повернення при вирішенні протиріч.

За і проти



За кожним позитивним рішенням треба побачити негативні сторони, уміти правильно зважити все "за і проти", вирішити ці протиріччя.

Критерій оцінки правильності ухвалених рішень, це – мінімум витрат на операції використання інструмента або інший, залежний від поставленої мети.

Патентний пошук



Створення оптимальної конструкції інструмента можливе при використанні прогресивних рішень, передових методів розрахунку і проектування. Не можна без попередньої підготовки, без з'ясування суті використовувати приведені в літературі приклади розрахунку.

Особливо небезпечним є використання "суто теоретичних" методик, які не підтверджені розрахунками. Досить часто такі "методи" містять цілу низку суперечностей та невизначеностей суто математичного характеру.

Необхідно спочатку детально вивчити або скласти технічне завдання на проектування, чітко уявити собі, що потрібно від інструмента і як цього можна досягти.

Тому перед початком роботи слід детально ознайомитися з об'єктом проектування по літературі, потім провести патентно-інформаційний пошук аналогів, проаналізувати їх з погляду оптимальних вирішень вказаних завдань проектування, прийняти технічно і економічно обгрунтовані рішення і розробити план проектних робіт.

Стандарти



Необхідно пам'ятати, що в будь-якій конструкції, навіть найоригінальнішій, доцільно використовувати стандартні елементи, що не тільки прискорює розробку і підвищує надійність інструменту, але часто визначає саму можливість його використання.

Перш за все це відноситься до вибору розмірів і форми приєднувальних частин, форми різальних зубів, способів кріплення різальних елементів, технічних вимог до інструментів-аналогів.

Синтез

Для синтезу оптимальної конструкції різального інструмента з елементів, шляхом послідовного вирішення завдань за алгоритмом проектування, необхідно мати уявлення про різновиди і властивості цих елементів, а також підходи до вирішення вказаних завдань.

Питання для самоконтролю

1. Мета, завдання і методи проектування.
2. Зміст технічного завдання на проектування.
3. Алгоритм проектування.
4. Загальний зміст технічних вимог.
5. Технічні вимоги до інструмента токарної групи.
6. Технічні вимоги до інструмента фрезерної групи.
7. Технічні вимоги до інструмента свердлувальної групи.
8. Допоміжний інструмент.
9. Основні параметри змінних різальних елементів.
10. Особливості проектування інструмента токарної групи.
11. Особливості проектування інструмента фрезерної групи.
12. Загальна послідовність проектування інструмента.
13. Підготовка до проектування, підготовчі дії.
14. Технічне завдання на проектування.
15. Проектування робочої частини.
16. Проектування приєднувальної частини.
17. Проектування прямої частини.
18. Призначення кондукторних втулок.

4 ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЕКТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТА

Проектування інструмента починається з ретельного вивчення виданого або розробленого самим конструктором, технічного завдання на проектування.

Вивчаються умови роботи інструмента, за якими з'ясовують принципів особливості його конструкції. Розглянемо деякі приклади.

Приклад 4.1 (Свердлення великого отвору).

Вихідні дані:

Проектування свердла для свердлення наскрізного отвору діаметром 80 мм у сталевій заготовці.

Рішення:

1. Основна особливість -- велика робота різання спіральним свердлом звичайної конструкції. Через значний діаметр оброблюваного отвору звичайне спіральне свердло вимушено видаляти великий об'єм стружки, що призведе до зайвих витрат

2. Принципова особливість альтернативної конструкції -- застосування свердла для кільцевого свердлення, що зменшує роботу різання.

Приклад 4.2 (Свердлення пластичного матеріалу).

Вихідні дані:

Проектування свердла для оброблення отвору в матеріалі, що має схильність до налипання.

Рішення:

1. Так як свердленню супроводить інтенсивне налипання оброблюваного металу на поверхнях тертя інструмента (особливо на бокових стрічках) – необхідно зменшити тертя між свердлом та заготовкою.

1.1. Зменшення тертя за рахунок зменшення ширини бокових стрічок, це зменшить зону контакту

1.2. Виконання підгострювання бокових стрічок, це зменшить зусилля.

1.3. Збільшення зворотної конусності, це локалізує контакт свердла з інструментом тільки в робочій зоні.

Подібні принципові особливості конструкції виявляють перед початком конструювання. Потім послідовно вирішують задачі проектування за всіма розглянутими пунктами або за частиною з них, залежно від заданого або прийнятого напрямку проектування. Основних напрямів проектування чотири:

- стандартна конструкція;
- оригінальна конструкція;
- оптимізація;
- доопрацювання.

4.1 Стандартна конструкція

При проектуванні стандартних інструментів (розробки робочих креслень таких інструментів) всі параметри конструкції і технічні вимоги приймають за відповідними стандартами. Такий метод проектування має як позитивні, так і негативні сторони.

Позитивні сторони

Використання стандартних аналогів при конструюванні прискорює і полегшує сам процес проектування, гарантує працездатність стандартних елементів, здешевлює конструкцію і забезпечує середній рівень якості.

Негативні сторони

Стандартне проектування виключає саму ідею застосування чогось нового, адже все – стандартне, все – як завжди, нічого нового.

4.1.1 Доопрацювання

Доопрацювання стандартних конструкцій інструмента, з оптимізацією окремих елементів стосовно конкретних умов роботи, здійснюють у масовому та багатосерійному виробництві. Стандартні інструменти пристосовують до конкретних умов роботи. У випадку доопрацювання інструмента можлива зміна:

- стандартних габаритних розмірів;
- геометричних параметрів різального леза;
- схем різання та зняття припуску;
- кроку зубів або відстані між ними;

- і деяких інших елементів для поліпшення експлуатаційних параметрів інструмента.

Під час доопрацювання використовуються стандартні різальні елементи і способи їх кріплення, стандартні ряди приєднувальних частин і деякі технічні вимоги, що не оптимізуються.

4.2 Оригінальна конструкція

Під час розроблення оригінальних конструкцій (зокрема спеціальних або фасонних інструментів), повністю виключений аналоговий метод проектування.

Проте, подібні конструкції, через можливість виникнення непередбачених прорахунків, можуть виявитися непрацездатними, і їх необхідно тривалий час допрацьовувати. Тому і тут корисно використовувати деякі стандартні рішення.

Позитивні сторони

Конструювання інструмента оригінальної конструкції дозволяє отримати інструмент високої продуктивності та розробити оптимальний технологічний процес оброблення заготовки.

Негативні сторони

Проектування оригінальної конструкції може зайняти значний проміжок часу. Це є критичним з урахуванням можливої конкуренції на ринку інструментів та значних витрат, що можуть не окупитись за час експлуатації інструмента.

4.3 Оптимізація

Оптимізацію стандартних інструментів виконують з метою підвищення ефективності їх роботи, головним чином за рахунок:

- вдосконалення схем різання;
- раціональних методів охолодження під час роботи;
- способів кріплення різальних елементів;
- оптимізації кроку зубів.

Зауваження. Елементи конструкції, окрім тих, що оптимізуються, приймають за відповідними стандартами.

Оптимізація конструкції полягає у виборі і об'єднанні оптимальних елементів конструкції з досягненням оптимальних витрат на використання інструмента.

Для цього потрібно провести патентно-інформаційний пошук, ознайомитися з вже наявними рішеннями:

- спершу за підручниками;
- потім за науковими публікаціями;
- і нарешті – за авторськими свідоцтвами і патентами.

При цьому необхідно пам'ятати, що сукупність оптимальних елементів конструкції не завжди забезпечує оптимальний результат. Тому після приєднання подальшого елемента конструкції до попередніх треба оцінити оптимальність прийнятого рішення.

4.3.1 Патентні дослідження

Для забезпечення достатнього рівня новизни і ефективності конструкторської розробки доцільно виконати патентно-інформаційний пошук аналогів об'єкта проектування.

Патентний пошук аналогів проводиться у двох джерелах:

- патентна документація;
- періодична науково-технічна література.

У результаті пошуку виявляють декілька аналогів об'єкту проектування. У пояснювальній записці наводять їх коротку характеристику, опис і принципи роботи з приведенням необхідних пояснюваних рисунків та посилання на першоджерело.

Для кожного аналога вказують переваги та недоліки, які доцільно оформити у вигляді таблиці.

Інформацію відносно патентів за тематикою проекту можливо знайти на таких сайтах:

USA	– http://www.uspto.gov/patft/index.html
Європа	– http://ep.espacenet.com/ http://ep.espacenet.com/en/helpV3/coverage.html .
Євразія	– http://ea.espacenet.com
Канада	– http://Patents1.ic.gc.ca/intro-e.html

Австралія	– http://www.ipaustralia.gov.au/patents/P_specs.htm http://www.IPAustralia.gov.au/services/S_soft.htm
Германія	– http://www.depatistnet.de/ http://publikationen.dpma.de https://dpinfo.dpma.de
Англія	– http://www.patent.gov.uk/patent/dbase/index.htm
Японія	– http://www.jpo.go.jp
Сінгапур	– https://www.ipos.gov.sg/
Україна	– http://www.ukrpatent.org

Американська класифікаційна система включає класи, що складаються з підкласів. Положення патенту в системі описується кодом у форматі клас/підклас (class/subclass). Номер підкласу може мати цифрове або літерне розширення (sub-subclass).

Американська система змінюється постійно, і патентне відомство США перекласифікує старі патенти за новими класами/підкласами кілька разів на рік оновлюючи зміст більшості баз даних.

Міжнародна класифікаційна система побудована за ієрархічним принципом, який відбивається в класифікаційному коді: розділ, клас підклас група/підгрупа.

Міжнародна класифікаційна система змінюється один раз в п'ять років, що надає певну стабільність.

4.3.2 Оптимізації інструмента

Проблема оптимізації є загальною і найважливішою проблемою процесу проектування різального інструмента. Оптимізація має враховувати наступні етапи:

- спочатку необхідно оптимізувати конструкцію інструмента загалом, визначивши тип та потребу в нових або модернізованих конструкціях;
- оптимізація повинна бути комплексною, тобто охоплювати три стадії проходження продукції:

- проектування інструмента;
 - виготовлення інструмента;
 - експлуатація інструмента.
- процес оптимізації має здійснюватися систематично за період “життя” інструмента, шляхом його модернізації на основі результатів спостережень за експлуатацією.

Оптимізація здійснюється на всіх етапах і рівнях проектування. При цьому вирішуються два типи оптимізаційних завдань:

- вибір принципових рішень, тобто вигляду, типу і схеми конструкції (так звана структурна оптимізація);
- обґрунтування ухвалення кількісних рішень (параметрична оптимізація).

Проблема оптимізації має два головні аспекти:

- постановку завдання;
- і її рішення.

Постановка завдання

У зміст постановки (формулювання) завдання на проектування різального інструмента входять:

- вибір параметрів, які підлягають оптимізації (ті, що мають значний вплив);
- визначення меж зміни параметрів оптимізації (особливо важливо для машинного проектування);
- визначення істотних технічних обмежень.

Рішення завдання

Труднощі вирішення оптимізаційних завдань посилюються тим, що ухвалення рішень на перших етапах проектування більш значуще, і помилки в їх ухваленні вирішальніші, ніж на подальших етапах. Ці труднощі долають двома способами.

1-й спосіб

Розбиття етапу проектування на рівні, що дає можливість за наявності початкової інформації, достатньої для виконання цього рівня, перейти до подальшого рівня з додатковою інформацією попереднього рівня.

2-й спосіб

Ітераційний процес оптимізації конструкції. В цьому випадку допустимо однокритеріальне оптимальне рішення. Але треба чітко довести, що вибраний критерій є головним.

4.3.3 Оптимізація різальної здатності

У теперішній час в інструментальному виробництві широко застосовують різні способи поліпшення різальної здатності інструментальних матеріалів. Всі способи можна розділити на дві групи.

Перша група

Способи, що дозволяють поліпшити структуру і властивості інструмента шляхом усунення вірогідних недоліків термічної обробки або шкідливих наслідків шліфування і заточування інструментів.

До першої групи відноситься спосіб обробки інструмента при температурах нижче за нуля (обробка холодом), яка полягає в охолодженні інструментів після гарту до температури мінус 75...80°C і витримці при такій температурі протягом одного часу.

Обробка холодом, в деяких випадках, дозволяє підвищити період стійкості інструменту в 1,5...2 рази.

Друга група

Способи за допомогою яких можна підвищити зносостійкість і теплостійкість різальної частини інструмента шляхом зміни складу і властивостей поверхневих шарів.

До другої групи способів, що підвищують зносостійкість та теплостійкість різальної частини швидкорізального інструмента, відносять ціанування, яке підвищує період стійкості інструмента в 1,5...3 рази.

Разом з традиційними способами, зміцнення поверхневого шару, використовують нові: радіоактивне опромінювання, опромінювання лазерними лучами.

Питання для самоконтролю

1. Різновиди напрямів в проектуванні інструментів залежно від їх призначення.
2. Що слід вивчити перед початком проектування різального інструмента?
3. Причини необхідності використання стандартних рішень при конструюванні.
4. Які елементи конструкції інструменту повинні бути стандартними?
5. Позитивні сторони проектування стандартного інструмента.
6. Негативні сторони проектування стандартного інструмента.
7. У чому полягає доопрацювання конструкції інструмента?
8. Позитивні сторони проектування оригінального інструмента?
9. Негативні сторони проектування оригінального інструмента?
10. У чому полягає суть “патентного дослідження”?
11. Як здійснюють оптимізацію інструмента?
12. Способи оптимізації різальної здатності інструмента?

5 РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ УМОВ

Технічні умови

Технічні умови (ТУ) – нормативний документ, що встановлює технічні вимоги, яким повинен відповідати інструмент, та визначає процедури, за допомогою яких може бути встановлено, чи дотримані такі вимоги.

Технічні умови є невід’ємною частиною комплексу конструкторської, технологічної або іншої технічної документації на інструмент. У технічних умовах, які є окремим документом, має бути повний комплекс вимог до інструмента, його виготовлення, контролювання, приймання та зберігання.

У самому загальному випадку технічні умови повинні містити відомості у такій послідовності:

1. Основні параметри та характеристики (властивості). Наприклад: матеріал корпусу – сталь 45Х, твердість 52 HRC.
2. Вимоги до сировини, матеріалів, покупних виробів. Наприклад: прокладки гумові за ДСТУ 1234-56.
3. Комплектність. Наприклад: фреза складена, комплектується важелем для закріплення пластин.
4. Маркування основних параметрів. Наприклад: маркувати діаметр робочої частини.
5. Пакування. Наприклад: пакувати не більше 3 штук в упаковці.

5.1 Твердість

Чим більше твердість різальних елементів інструмента, тим вище його зносостійкість. Швидкорізальні сталі можуть бути загартовані до твердості 63...66 HRC, а деякі марки – до 67 одиниць.

Проте для інструментів малого розміру (свердла, зенкери, розвертки і інші інструменти з площею поперечного перетину до 20 мм²) та інструментів, що мають мілкий профіль (різбовий), та часто виходять з ладу через поломки, максимальну твердість не признають. З метою підвищення міцності твердість таких інструментів повинна бути на 2...3 одиниці нижче максимально досяжної.

У табл. 5.1 наведені значення твердості для окремих конструктивних елементів збірного інструмента²⁷.

Табл. 5.1. Матеріал та твердість неробочих частин інструмента

Конструктивний елемент	Марка сталі	Твердість, HRC
Державки різців	40, 45	30...35
Хвостовики свердел, зенкерів, розверток	45	30...45
Корпуса збірних розверток, зенкерів	40X, 40, 50	30...45
Гайки та гвинти збірного інструмента	35, 45	25...30
Хвостовики зварних кінцевих фрез	40X, 45, 50	30...45
Корпуса збірних фрез	40X, 40, 50	30...40
Хвостовики зварних мітчиків	45, 60	30...40
Державки для зубошліфувальних різців	45, 40X	30...35
Державки для зубошліфувальних гребінок	40XФА	35...40
Корпуса зуборізних головок	40X, X	35...40
Хвостовики протяжок	40X	40...45
Корпуса (аплікатори) протяжок зовнішніх	15, 20	40...45

Бажаємо, щоб твердість напрямної частин була такою ж, як і робочих, якщо це технологічно здійснимо, а приєднувальних — не більше 45 HRC.

5.2 Точність

Лінійні і кутові розміри інструмента, які не впливають на точність обробки, є вільними, їх відхилення призначають зазвичай за 14-м квалітетом.

Відхилення розмірів і неточність розташування складових частин інструмента, що впливають на точність оброблених ними поверхонь, призначають залежно від похибок обробки. Їх сумарне значення не повинне перевищувати однієї третини від допуску на відповідний розмір обробленої деталі. Дві третини допуску залишають на технологічні та інші невраховані помилки, супутні обробці деталі.

Якщо при цьому допуски на окремі елементи конструкції інструмента виявляються дуже жорсткими і технологічно нездійсненними,

²⁷Справочник конструктора-инструментальщика / [В. И. Климов, А. С. Лезнер, М. Д. Пекарский та ін.]. – Москва - Свердловск: МАШГИЗ, 1959. – 608 с.

то їх можна збільшити до сумарного приведеного значення 50...70 % від допуску на розмір деталі.

Слід враховувати, що точність оброблення залежить від способу оброблення (точіння, свердлення, фрезерування тощо). У табл.5.2 наведені економічно доцільні квалітети (доцільна задана точність) залежно від способу оброблення.

Табл. 5.2. Економічно доцільний квалітет

Спосіб оброблення	Квалітет
Обточування :	
– чорнове	IT12
– чистове	IT11
Шліфування у центрах:	
– однократне чорнове	IT9
– однократне чистове	IT8
– тонке	IT7
Свердлення:	
– за кондуктором	IT11
– без кондуктора	IT12
Зенкерування:	
– чорнове	IT11
– чистове	IT10
Розвертування:	
– чорнове	IT9
– чистове	IT8
Шліфування площин:	
– чорнове	IT9
– чистове	IT8
– тонке	IT7

Неточність розташування робочих поверхонь і різальних кромок, визначувана кутами, нормується так само, як і інші розміри.

Радіальне і торцеве биття різальних кромок багатолезових інструментів або різна висота зубів впливають як на точність обробки, так і на стійкість інструмента.

Стійкість інструмента підвищується із зменшенням биття різальних кромок, оскільки виключається перевантаження окремих зубів і їх передчасне затуплення, яке надалі позначиться і на точності обробки.

З позицій стійкості не слід сильно обмежувати биття кромки, оскільки може статись, що збільшення витрат на підвищення точності розташування кромки не компенсується економією від підвищення стійкості. Це означає, що биття різальних кромки, що допускається, повинне бути економічно доцільним.

Допустимі норми точності конкретних інструментів наведені у відповідних стандартах на технічні вимоги до цих інструментів.

Параметри точності базових елементів інструмента наведені у відповідних стандартах і довідковій літературі. При необхідності перевірки відповідності цих параметрів точності виконуваної роботи проводять спеціальні розрахунки на жорсткість і точність позиціонування інструмента²⁸.

5.3 Шорсткість

Шорсткість робочих поверхонь (передніх і задніх) позначається на стійкості інструмента так само, як і биття різальних кромки. Загалом, із зменшенням шорсткості стійкість інструмента підвищується.

Підходи до її нормування такі ж, як і до биття кромки. Значення шорсткості повинні бути економічно вигідними. Середній рівень значень приводиться у відповідних стандартах.

Шорсткість базових і інших поверхонь визначається методами їх обробки, та точністю їх розмірів. Кожному методу обробки властива цілком певна точність і шорсткість оброблених поверхонь (табл. 5.3).

Проте, на робочих кресленнях вона є особливо важливою для базових поверхонь, оскільки від їх шорсткості залежить контактна жорсткість стиків і зрештою – точність позиціонування інструмента.

Мінімальна шорсткість оброблених поверхонь пов'язана з точністю оброблених поверхонь. Отже, для того щоб отримати деталь (інструмент) з певними параметрами його точності, необхідно мати цілком певну шорсткість. Нижче наведені мінімальні величини шорсткості для різних квалітетів

<i>IT</i>	6	7	8	9
<i>Ra</i> , мкм	1,6...2,5	0,8...1,25	0,40...0,63	0,20...0,32

²⁸ Доцільно звернутись до посібника "Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну". Частина I / В. І. Солодкий, Ю. І. Адаменко, В. В. Вовк, Н. В. Мініцька. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 225 с.

Табл. 5.3. Шорсткість залежно від оброблення

Технологічний процес	Шорсткість Ra , мкм											
	0,025	0,5	0,10	0,20	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Точіння												
Розточування												
Розвертування												
Фрезерування циліндричне												
Фрезерування торцеве												
Шліфування												
Полірування												

5.4 Випробування

Методи випробування в роботі стандартних інструментів вказані у відповідних стандартах і в технічні вимоги на робочих кресленнях таких інструментів не записуються.

У випадках, коли такі вимоги для оригінальних інструментів відрізняються від стандартизованих, їх доцільно записати.

У технічних вимогах записується також "інструмент повинен забезпечити задану точність обробки деталі", якщо немає упевненості в тому, що точність обробки буде забезпечена навіть у разі виготовлення інструмента в строгій відповідності з кресленням.

5.5 Маркування

Маркування інструмента повинно містити необхідний мінімум відомостей для пошуку інструмента, організації його нормальної експлуатації і поновлення працездатності (заточування).

Зазвичай у маркуванні вказують такі параметри інструмента:

- умовне позначення за стандартом або індекс, привласнений кресленням;
- інструментальний матеріал;
- клас точності;
- модуль, кут зачеплення і кількість зубів коліс для зуборізних інструментів;
- крок гвинтових стружкових канавок;
- значення кутів заточування, якщо вони мають вплив на точність поверхонь, що обробляються інструментом;
- дату виготовлення.

Вказівки з консервації і пакування виготовленого інструмента розробляють з урахуванням термінів і місця зберігання, а також його доставки до цього місця. Це технологічні питання, які розробляє технолог-інструментальник.

Проте, якщо конструктор-інструментальник вважає деякі питання дуже важливими для підтримки якості інструмента, їх слід вносити до технічних вимог. Вимоги до консервації і пакування стандартних інструментів зазвичай містяться у відповідних стандартах.

Питання для самоконтролю

1. Яку твердість мають мати робоча, приєднувальна та напрямна частини?
2. Як призначають відхилення лінійних і кутових розмірів?
3. Як призначають неточності розташування поверхонь і кромek?
4. Як призначають шорсткості поверхонь?
5. Вкажіть методи оцінки підвищення різальної здатності.
6. Сформулюйте основні технологічні вимоги до інструмента.
7. Як вказують вимоги до випробувань інструментів в роботі?
8. Які основні параметри інструмента підлягають маркуванню?
9. У яких випадках вказують методи консервації?
10. Які вимоги пред'являють до пакування інструмента?

6 СХЕМИ РІЗАННЯ

Схема різання визначає в якій послідовності буде зрізуватись (видаляться) припуск на оброблення заготовки. Конструювання інструмента починають із визначення (обґрунтування) схеми різання.

Схема різання

Схема формоутворення поверхні оброблюваної деталі шляхом пошарового видалення припуску в певній послідовності.

Поняття “схеми різання” визначає в якій послідовності буде видалено припуск на оброблення. Наприклад, під час точіння деталі на токарному верстаті припуск можливо видалити послідовним зрізуванням декількох шарів матеріалу, як це подано на рис. 6.1,а. Спочатку видаляють єдиним елементом шар 1, потім також видаляють шар 2. Кожний шар видаляють цілком, за один раз.

У той же час кожний окремий шар може бути видалений поступово за рис. 6.1,б. Спочатку видаляють шар 1, але не цілком, а поступово поелементно. Потім, таким же чином, поелементно видаляють шар 2 припуску.

Зрозуміло, що від прийнятої схеми різання (варіант а або б) будуть залежати зусилля різання та механічні характеристики обробленої поверхні.

Найбільш тісно те показово поняття схеми різання відноситься до протягування. Зовнішній вигляд протяжки та принцип роботи подано на рис. 6.2, а схема видалення припуску на рис. 6.3.

Заготовка деталі під протягування має попередньо оброблений отвір. Заготовку надівають на протяжку та протягують протяжку скрізь заготовку.

Діаметр зубів протяжки збільшується до хвостової частини інструмент, завдяки чому кожний зуб протяжки видаляє певний шар припуску на протягування.

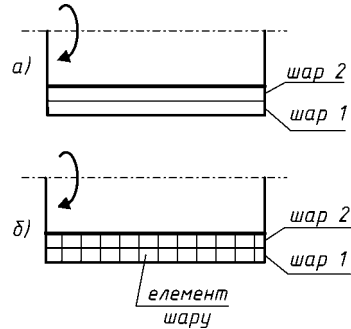


Рис. 6.1. Схема різання

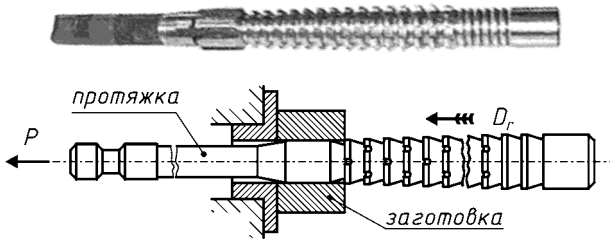


Рис. 6.2. Протяжка

Кожний зуб протяжки послідовно видаляє певний шар припуску. Спочатку видаляється шар 1, потім наступний зуб (різальний елемент) видаляє шар 2. Після того, як протяжка завершила роботу (пройшла наскрізь заготовки), оброблюваний отвір приймає кінцевий розмір та форму.

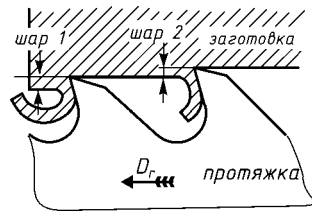


Рис. 6.3. Схема протягування

Поширеними є три схеми зрізування (видалення) припуску при протягуванні:

- профільна схема різання;
- генераторна схема різання;
- комбінована схема різання.

Кожна з них не виключає наявності іншої, але мають свої особливості застосування.

6.1 Профільна схема різання

Профільна схема різання характеризується тим, що форма перетину зрізу кожним зубом повторює профіль обробленої поверхні, при цьому остаточні розміри і форма профілю відтворюються головною різальною кромкою останнього (протягування) або кожного (фрезерування) різального зуба (рис. 6.4).

У профільній схемі різання, кожний різальний зуб повторює форму готового отвору.

На рис. 6.4 наведено декілька прикладів використання профільної схеми різання під час утворення поверхонь різними інструментами, а саме: протяжки, фасонної фрези та мітчика. Кожен наступний зуб видаляє свій фасонний шар припуску.

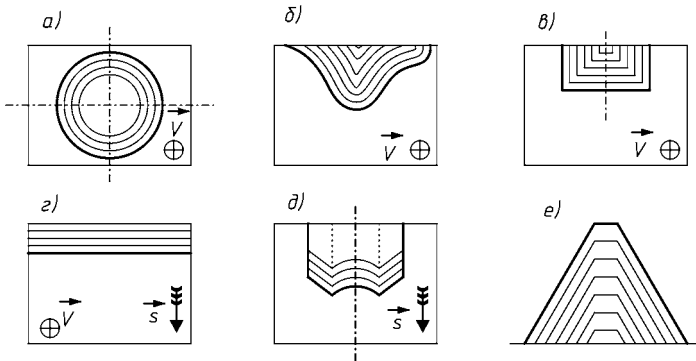


Рис. 6.4. Профільна схема різання

- a* – протягування циліндричного отвору;
- б* – протягування фасонного пазу складного профілю;
- в* – протягування простого прямобічного пазу;
- г* – поступове фрезерування площини з подачею s ;
- д* – поступове фрезерування фасонного пазу з подачею s ;
- е* – утворення різьби мітчиком (або токарним різцем).

Переваги. Профільна схема забезпечує високу точність та однорідність обробленої поверхні.

Проблеми. Профільна схема різання має ту проблему, що кожен зуб повторює профіль готового отвору, через що її дуже важко виготовити. Зверніть увагу на рис. 6.4,б. Кожен зуб має досить складний профіль.

6.2 Генераторна схема різання

При генераторній схемі різання профіль деталі генерується поступово (рис. 6.5). Різальні кромки мають просту форму (зазвичай це пряма лінія), а повний профіль складається (генерується) поступово кожним наступним різальним зубом.

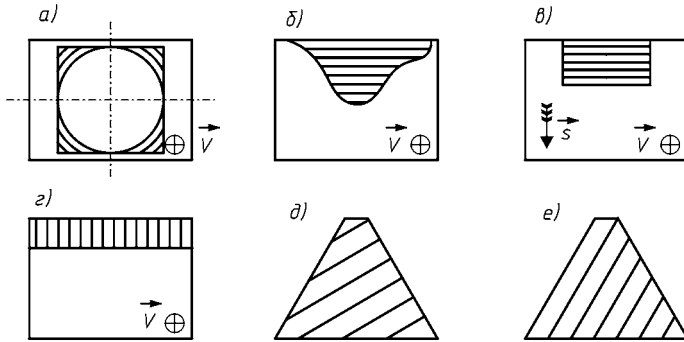


Рис. 6.5. Генераторна схема різання

- а – утворення квадратного отвору;
 б – генерування фасонного пазу складного профілю;
 в – протягування простого прямобічного пазу;
 г – поступове фрезерування площини з подачею s ;
 д, е – утворення профілю різьби.

Заточування інструментів простіше, оскільки простіше форма задньої поверхні, але нижче точність обробленої поверхні.

Прикладом генераторної схеми різання може бути оброблення зубчатого колеса (утворення фасонного пазу між зубами) черв'ячною фрезою (рис. 6.6).

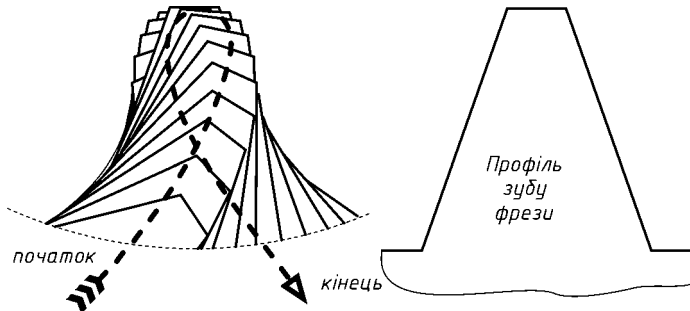


Рис. 6.6. Фрезерування зубчатого колеса черв'ячною фрезою

Фасонний профіль западини поступово генерується зубом прямобічного профілю.

6.3 Групова схема різання

Профільні і генераторні схеми різання можуть бути одинарними і груповими. Під час одинарної схеми різання кожен зуб інструмента відокремлює шар, що зрізається, по всій його довжині незалежно від того профільна схема або генераторна (рис. 6.4 та 6.5).

Під час групової схеми кожен зрізуваний шар видаляється не одним зубом, а поступово – декількома частинами, але більшої товщини (рис. 6.7).

Переваги. При однаковій площі перетину зрізу (однаковій продуктивності) сили різання інструментами групової схеми різання менші ніж при одинарній.

Якщо сили різання вирівняти додатковим збільшенням площі перетину зрізу за рахунок зростання його товщини, то продуктивність інструментів групової схеми різання вища.

Крім того, групова схема виключає дуже тонкі зрізи, при яких спостерігається підвищений знос зубів інструмента (зуби працюють по наклепаному шару), і допускає можливість протягування “по-чорному” поверхонь литих, кованих і штампованих заготовок (перші зуби протяжок працюють під кіркою).

6.4 Комбінована схема різання

Залежно від форми різальних контурів інструментів, необхідної точності обробки, технологічності конструкції інструмента і інших умов можуть використовуватися комбіновані (або змішані) схеми різання, що містять елементи профільної і генераторної схем, якщо це технічно і економічно виправдано²⁹.

Основна частина припуску може віддалятися за генераторною схемою різання, а решта частини, з метою підвищення точності обробки – за профільною. Наприклад, основний припуск на утворення різьбового профілю видаляється за генераторною схемою, а чистове оброблення за профільною

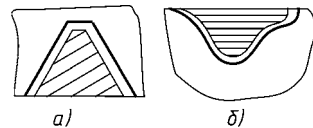


Рис. 6.8. Комбінована схема різання

²⁹ Досить часто комбіновану схему різання називають прогресивною. Це суто історичне явище.

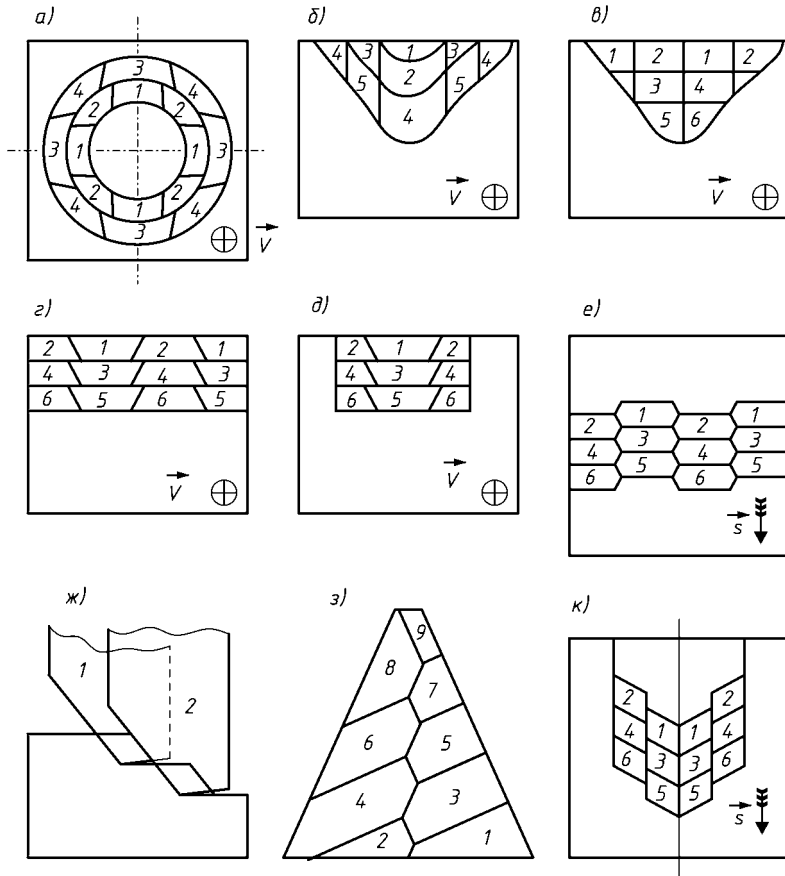


Рис. 6.7. Групова схема різання

- a* – утворення циліндричного отвору;
- б, в* – оброблення фасонного пазу профілю;
- г...е* – протягування простого прямобічного пазу;
- ж* – поступове фрезерування площини;
- з* – утворення профілю різьби.
- к* – свердління отвору ступінчастим свердлом.
- 1, 2, 3 ...* – послідовність видалення припуску.

(рис. 6.8,а). Теж саме можна відтворити під час оброблення фасонного профілю (рис. 6.8,б).

Групові схеми різання забезпечують високу продуктивність оброблення, що характеризується зменшеною шириною зрізу, але збільшеною товщиною, внаслідок чого можна зменшити розміри стружкової канавки і крок зубів, збільшити число одночасно різальних зубів.

Енергоємність процесу різання зменшується із зменшенням сил різання. Цьому також сприяють групові схеми різання. Крім того, розділення стружки на вузькі смужки канавками, виконаними на задніх поверхнях зубів інструмента, полегшує її відділення і зменшує сили різання.

Канавки для розділення стружки особливо корисні при складній формі перетину зрізу. Класичним прикладом служать канавки на зубах протяжок (рис. 6.9).

Вказаній меті служить також вдосконалення форми канавок, що забезпечує утворення допоміжних задніх кутів (рис. 6.9,а), заходи, що дозволяють виключити дуже тонкі зрізи.

Останнім часом замість канавок за рис. 6.9,а застосовують викружки радіусної форми за рис. 6.9,б. Така форма має кращі умови різання.

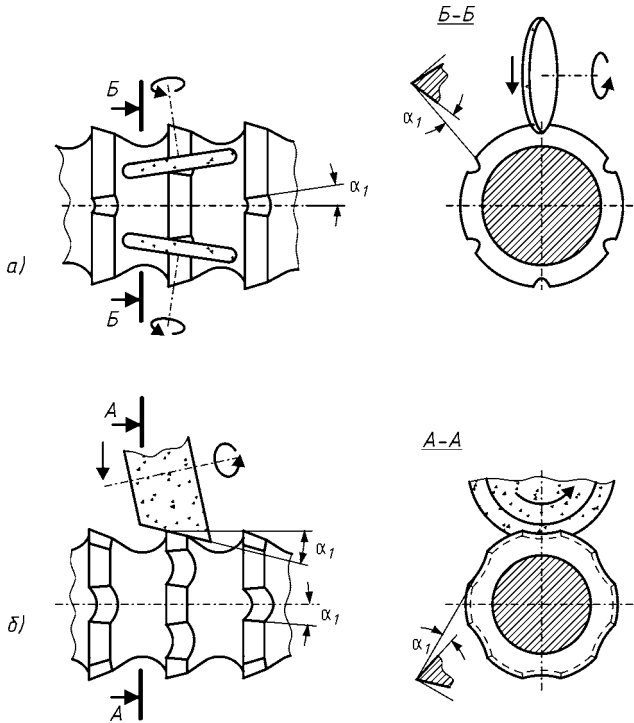


Рис. 6.9. Розділення стружки

- а – розділення стружки (зрізаного шару) за допомогою канавок;
- б – розділення стружки (зрізаного шару) за допомогою радіусних викружок, які забезпечують кращі умови різання (більші задні кути).

Питання для самоконтролю

1. Різновид схем різання і їх вплив на працездатність інструментів.
2. Вимоги до схем різання.
3. Різновиди прогресивних схем різання.
4. Профільна схема різання.
5. Генераторна схема різання.
6. Одинарна схема різання.
7. Комбінована схема різання.
8. Генераторна схема утворення профілю зубчатого колеса.
9. Утворення квадратного отвору протягуванням.
10. Генераторна схема утворення профілю різьб.
11. Розділення стружки у профільній схемі різання.

7 ПРИЄДНАННЯ ІНСТРУМЕНТА

Для забезпечення необхідних розмірів оброблення, інструмент має займати певне положення відносно верстата. Для цієї мети служить приєднувальна частина інструмента, що складається з базових поверхонь і елементів передачі зусиль.

7.1 Стандартні хвостовики

До стандартних хвостовиків відносять з'єднання інструмента з верстатом (шпинделем верстата) за допомогою конусів Морзе (рис. 7.1) або шпонкових оправок (рис. 7.2).

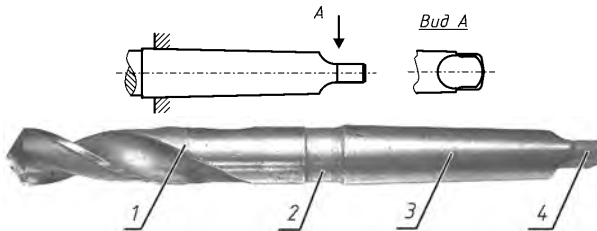


Рис. 7.1. З'єднання конусом Морзе:

1 – робоча частина свердла; 2 – шийка (місце маркування);
3 – конус Морзе; 4 – лапка.

У разі застосування конуса Морзе³⁰ крутний момент передається тертям конічних поверхонь 3 хвостовика та отвору шпинделя.

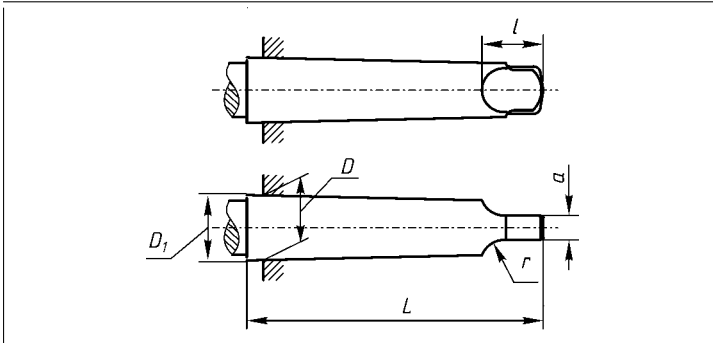
Зауваження. Призначення лапки 4 – полегшити вийняття інструмента із шпинделя. Ніякого крутного моменту вона не передає.

Параметри конусів Морзе наведено у табл. 7.1. Їх розміри стандартизовані і відповідають міжнародним стандартам на посадкові отвори у свердлувальних верстатах.

У разі використання шпонкового валу (оправки) за рис. 7.2, інструмент насаджують на отвором 2 циліндричну оправку, а крутний момент передають за допомогою шпонки 1. Діаметри d отворів стандартизовані.

³⁰Конус Морзе названо так за прізвищем його винахідника – Стівенса Амброза Морзе, американського підприємця середини 19 ст.

Табл. 7.1. Конуси Морзе



Конус	D , мм	D_1 , мм	L , мм	a , мм	l , мм	r , мм
0	9,045	9,212	59,5	3,2	10,2	4
1	12,065	12,240	65,5	3,5	13,5	5
2	17,780	17,98	78,5	4,0	16,5	6
3	23,825	24,051	98,0	4,5	20,0	7
4	31,269	31,542	123,0	5,3	24,0	9
5	44,399	44,731	155,5	6,3	30,5	11
6	63,348	63,760	217,5	7,0	45,5	17

З причин невідомих авторам, кут конуса Морзе різний для його різних номерів. Загалом конусність конуса Морзе приблизно дорівнює 1:20.

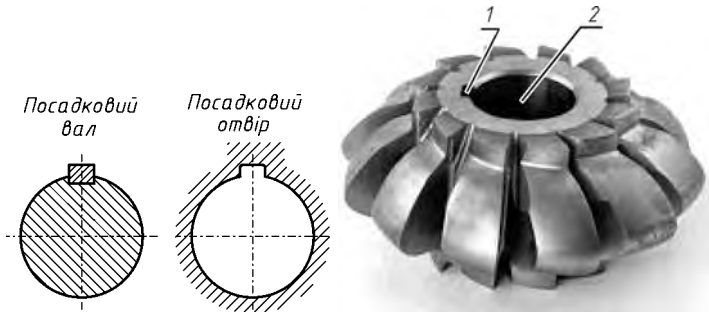


Рис. 7.2. З'єднання шпонковою оправкою:

1 – шпонковий паз;
2 – посадковий отвір під оправку.

Параметри отворів в інструменті під шпонкові оправки стандартизовано, їх основні розміри подані у табл. 7.2.

Табл. 7.2. Шпонкові оправки

D , мм	b , мм	n , мм	t , мм	t_1 , мм	t_2 , мм	r , мм
16	4	4	13,2	17,2	17,7	0,5
22	6	6	17,6	23,6	24,1	0,5
32	6	6	22,6	28,6	29,4	0,8
40	8	7	27,0	34,0	34,8	0,8
50	8	8	34,5	42,5	43,5	1,0
60	9	8	44,5	52,5	53,5	1,0

Стандартний інструмент для утворення внутрішніх різьб (мітки) виконують із хвостовиком квадратного перерізу за рис. 7.3.

Форму хвостовика надають фрезеруванням квадрату відповідного розміру. Закріплюють такий інструмент у спеціальний вороток, що має квадратний отвір. Отвір може мати різні форми. Або повний квадрат за виконанням 1, або фігурний за виконанням 2.

В обох випадках передача руху інструменту здійснюється ручним способом. Така конструкція хвостовика забезпечує швидку зміну інструмента, але має той недолік, що інструмент ніяк не закріплено у ручному воротку.

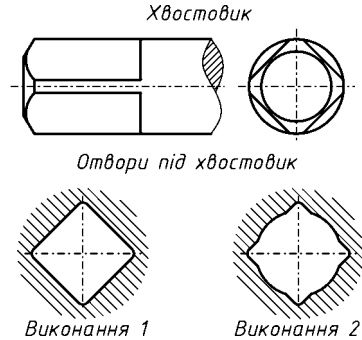


Рис. 7.3. Квадратні хвостовики

7.2 Плаваючі патрони

У переважній більшості інструменти закріплюють нерухомо щодо шпинделя або супорта верстата (різці, фрези, свердла, зенкери, протяжки для зовнішнього протягування, зуборізні інструменти).

Проте є випадки, коли слід віддати перевагу рухомому з'єднанню інструмента з верстатом. Це відноситься до інструментів, які мають самостійно встановитись за деталлю, якщо є побоювання, що верстатом це забезпечити не можливо.

Так, наприклад, плаваючий патрон за рис. 7.4 забезпечує поєднання осей розвертки і оброблюваного отвору, якщо вісь шпинделя верстата зміщена щодо осі заздалегідь обробленого отвору.

Існує два різновиди плаваючих патронів – з однією віссю (рис. 7.4,а) та з двома (рис. 7.4,б).

Конструкція плаваючого патрону за рис. рис. 7.4,б має більшу можливість самовстановлення за рахунок наявності двох осей.

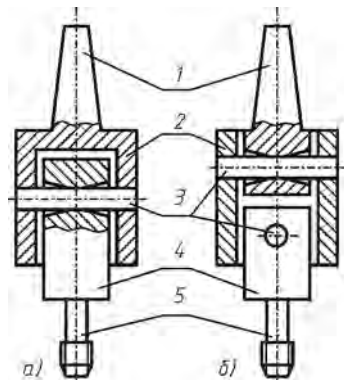


Рис. 7.4. Плаваючий патрон:
1 – хвостовик; 2 – обойма;
3 – вісь качання; 4 – корпус;
5 – інструмент.

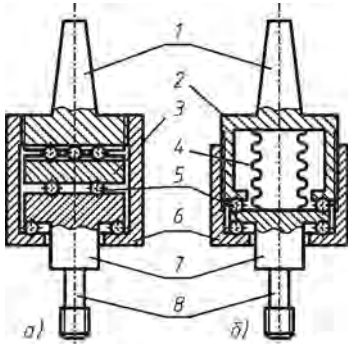


Рис. 7.5. Патрон кочення та сильфонний:

- 1 – хвостовик; 2 – обойма;
3 – повідок; 4 – сильфон;
5 – кульки; 6 – корпус патрону;
7 – патрон для інструмента;
8 – інструмент.

ний металевий стрижень-подовжувач з радіальною податливістю на кінці закріпленого в ньому інструмента замість патрона, що коливається.

Патрон кочення за рис. 7.5,а на жаль має схильність до заклинювання і тому не застосовується у випадках роботи із значним навантаженням. Патрон із сильфоном за рис. 7.5,б не має таких проблем, однак значно складніший і дорожчий.

Зауваження. Інструмент встановлений у плаваючий патрон завжди рухається вздовж осі попередньо обробленого отвору, навіть коли вона викривлена.

При виборі або розробці конструкції патрона необхідно прагнути зменшити кількість рухомих з'єднань, в яких під час роботи можливі заїдання і перетворення рухомого з'єднання в нерухоме із зміщенням, щодо шпинделя верстата, положенням інструмента. Наслідком цього з'явиться підвищене розбивання обробленого отвору.

7.3 Швидкозмінні хвостовики

Швидкозмінні кріплення дуже важливі для інструментів автоматизованих виробництв, де необхідне скорочення простоїв автоматичних ліній при заміні інструментів.

Основною конструкції швидкозмінних патронів є принцип швидкої зміни інструмента. На рис. 7.6 подано типову конструкцію хвостовика інструмента, що дозволяє здійснювати заміну інструмента за малий проміжок часу. В її основу закладено так-званий штифтовий замок.

Значною перевагою таких хвостовиків є простота та швидкість встановлення інструмента у шпиндель верстата.

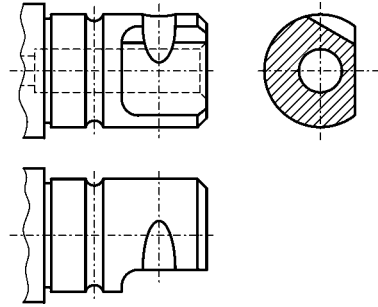


Рис. 7.6. Штифтовий хвостовик

Однак штифтовим хвостовикам притаманні суттєві недоліки:

- інструмент може передавати зусилля різання тільки в одному напрямку. Це змушує виготовляти хвостовики ліві та праві;
- через наявність зазорів у з'єднанні інколи виникають вібрації інструмента.

Зважаючи на вказані недоліки, штифтові хвостовики застосовують у випадках невисокої точності оброблення.

7.4 Регульований інструмент

Скорочення простоїв автоматизованого устаткування досягається використанням так званого безпідналаджувального інструмента, що не вимагає налаштування на розмір обробки після його установки на верстаті.

Виготовити взаємозамінний інструмент нескладно, але після переточування його розміри зміняться.

Тому в конструкцію інструмента або в проміжні оправки-перехідники, в яких він встановлюється, встановлюють рухомі елементи, якими можна забезпечити точне положення інструмента, відносно базових поверхонь верстата, забезпечуючи отримання заданих розмірів обробки.

7.4.1 Гвинт-гайка

Регулювання з'єднання інструмента із верстатом за допомогою гвинтової пари має широке застосування в автоматизованому виробництві.

Така конструкція дозволяє настроїти інструмент поза верстатом (який продовжує працювати) і виконати його заміну досить швидко із достатньою точністю.

На рис. 7.7 подано принципову конструкцію регулювання за допомогою гвинта, а на рис. 7.8 конструкцію перехідної втулки для регулювання вильоту мітчика на розмір L .

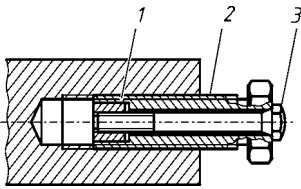


Рис. 7.7. Гвинт регулювання:

- 1 – сухарь;
- 2 – гвинт, що регулює;
- 3 – гвинт упорний.

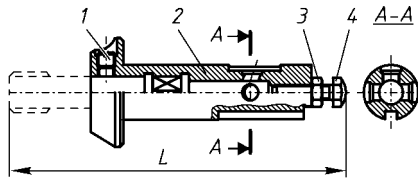


Рис. 7.8. Перехідна втулка для регулювання вильоту мітчика:

- 1 – гвинт; 2 – корпус; 3 – контргайка;
- 4 – гвинт, що регулює.

Точне настроювання інструмента на розміри обробки виконують у спеціальних пристроях (наприклад, розмір L за рис. 7.9 та 7.10) або приладах поза верстатом (верстат в цей час працює).

Таку настройку передбачають в інструментів для верстатів з ЧПК і автоматичних ліній з агрегатних верстатів, адже зміна здійснюється достатньо швидко та одночасно забезпечується необхідно положення інструмента відносно деталі (шпинделя).

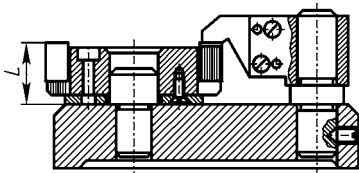


Рис. 7.9. Настроювання фрези поза верстатом

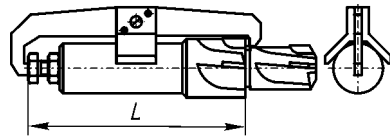


Рис. 7.10. Скоба для настроювання довжини інструмента

7.4.2 Мікробор

Для розточувального інструмента широко застосовують конструкцію регулювання, яку назвали мікробор³¹. На рис. 7.11 подана принципова конструкція “мікробор”. Гайка 4 має кругову шкалу. Обертаючи гайку 4 навколо різцевої вставки 5 регулюють положення вершини різця, а відповідно і діаметр оброблюваного отвору.

Основна ідея застосування мікробору полягає в тому, що інструмент (різець) приєднуються до верстата через проміжну конструкцію – мікробор.

Конструкція мікробору дозволяє не тільки передавати необхідний рух та засилля різання, але і позиціювати вершину різального леза відносно осі обертання оправки, тобто регулювати діаметр оброблюваного отвору.

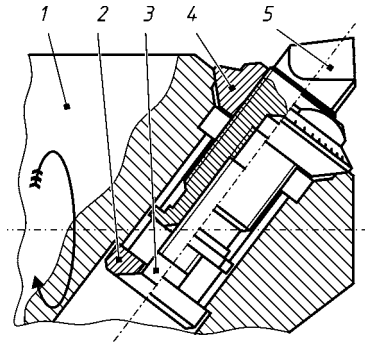


Рис. 7.11. Мікробор

- 1 – оправка інструмента;
- 2 – стопорна шайба;
- 3 – стопорний гвинт;
- 4 – кільце регулювання;
- 5 – різець.

7.4.3 Борштанги

Для налаштування поза верстата інструмента, що обробляє отвори досить часто використовують конструкції, які отримали назву “борштанга”. Типова конструкція борштанги подана на рис. 7.12.

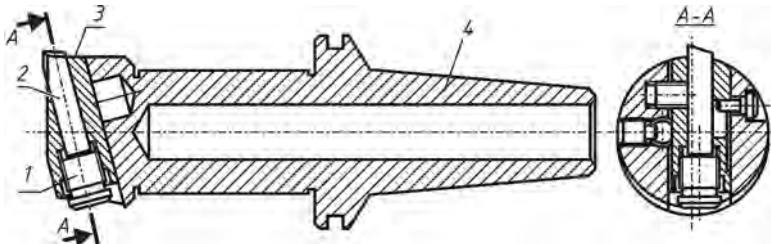


Рис. 7.12. Борштанга

- 1 – регулювальна гайка;
- 2 – різець;
- 3 – рухома планка;
- 4 – оправка борштанги.

³¹Мікробор – назва корпорації від якої пішла назва інструмента.

Різець 2 встановлено в рухому планку 3. Положення різця відносно планки визначено гайкою 1. Вся планка 3 може переміщуватись відносно корпусу 4 борштанги.

Конструкція борштанги дозволяє регулювати діаметр оброблюваного отвору у певному діапазоні розмірів. Отже, приєднування інструмента (розточувального різця) до верстату здійснюється через перехідний елемент – борштангу. Розміри самої борштанги стандартизовано, що дозволяє використовувати її на всіх верстатах свердлувальної групи.

Питання для самоконтролю

1. Типи стандартних хвостовиків.
2. Нумерація стандартних конусів Морзе.
3. Діаметри посадкових отворів за стандартом.
4. Форма хвостовиків ручного інструмента.
5. Принцип роботи плаваючи патронів.
6. Принцип роботи плаваючих патронів кочення
7. Принцип роботи плаваючих патронів сильфонного типу.
8. Типова конструкція штифтового хвостовика.
9. Регулювання розміру інструмента за допомогою гвинтової диференціальної пари.
10. Настроювання інструмента на розмір поза верстатом.
11. Конструкція та принцип роботи мікробора.
12. Конструкція та принцип роботи борштанги.

8 НАПРАВЛЕННЯ ІНСТРУМЕНТА

8.1 Необхідність направлення інструмента

Без точного положення інструмента і напрямку його руху, відносно оброблюваної деталі, неможливо обробити заготовку із заданою точністю розмірів і форми поверхонь. У процесі роботи інструмента напрям його руху забезпечує рух подачі. Такий напрям (направлення) зазвичай забезпечує верстат. Це може бути рух стола, супорта або шпинделя.

Однак, у багатьох випадках такого направлення недостатньо. Для підвищення точності оброблених поверхонь (і їх положення), інструменту необхідно надати додатковий напрям за допомогою пристрою або оброблюваної деталі.

Необхідність додаткового напрямку інструмента може виникати у випадках:

- свердлення точно розташованих отворів, розвертування, зенкування;
- поглиблень під головки гвинтів;
- обробки декількох співвісних отворів зенкерами або розвертками;
- нарізування точних різьб мітчиками;
- протягування на протяжних верстатах;
- а також для деяких інших видів обробки.

Необхідність такого додаткового направлення потрібно встановити на стадії проектування інструмента, залежно від точності розмірів і точності розташування оброблених поверхонь, щоб надалі вибрати спосіб направлення інструмента і відповідні напрямні елементи.

8.2 Способи направлення інструмента

Додаткове направлення інструмента здійснюють по обробленій або оброблюваній поверхнях деталі, а також з допомогою спеціальних пристроїв.

На технологічних операціях свердлення точніший напрям забезпечують пристрої типу кондуктор (кондукторні втулки) рис. 8.1.

Кондукторна втулка 1 закріплена в пристрої дозволяє обробляти нахилі поверхні 2 (наприклад, свердлення отворів зміщених відносно осі вала).

Спеціальні напрямні частини можуть також мати інструменти, що направляються по оброблюваній поверхні. Прикладами можуть служити зенкери з передньою циліндровою напрямною для зенкування поглиблень під головки гвинтів, мітчики для нарізування точних різьб. Бажано, щоб форма напрямної частини повторювала форму оброблюваних поверхонь деталі, тоді напрямні елементами інструмента можуть бути його продовженням.

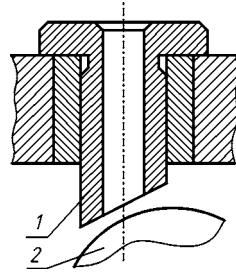


Рис. 8.1. Кондукторна втулка:

1 – кондукторна втулка; 2 – деталь.

На рис. 8.2 подано принципову схему додаткового напрямного циліндра для зенкерів. Така напрямна 1 направляє (центрує) інструмент за віссю вже обробленого отвору (рис. 8.3). У даному випадку на рис. 8.2,а зображено оброблення ступінчатого отвору. На рис. 8.2,б зображено оброблення посадкової поверхні для головки болта в деталях отриманих методом лиття.

Така ж схема напрямного елемента 1 може застосовуватись для оброблення різьб (рис. 8.4). На рис. 8.4,а зображена конструкція напрямного циліндра, який сам має базування по внутрішній поверхні отвору під нарізування різьби. Напрямна 1 за рис. 8.4,б має базування по різьбовій поверхні попередньо нарізаної різьби.

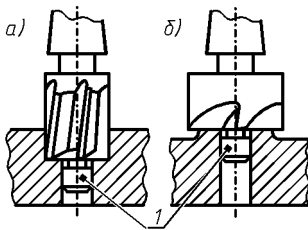


Рис. 8.2. Направлення зенкерів



Рис. 8.3. Напрямна зенкеру

Напряmnими елементами інструмента можуть бути калібрувальні зуби або спеціальні напрямні частини. Напряmn інструмента за допомогою калібрувальної частиною передбачають при обробленій отворів свердлами, зенкерами, розвертками (рис. 8.5).

Для цієї мети на калібрувальних зубах (елементах) виконують стрічки. Для кращого напрямку, особливо у випадках великої неврівноваженості радіальних сил на зубах інструмента, бажано мати стрічки ширші, а для підвищення стійкості і зменшення налипань на інструмент в'язких оброблюваних металів, навпаки – вузькі.

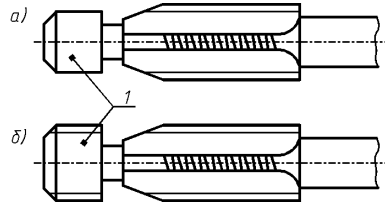


Рис. 8.4. Направлення мітчиків



Рис. 8.5. Напрямні розвертки:

- 1 – передні напрямна; 2 – перша різальна частина меншого діаметра;
3 – друга різальна частина більшого діаметра; 4 – задні напрямна;
5 – хвостовик розвертки; 6 – квадрат під вороток.

Напрямок стрічками можливо і по кондукторних втулках, але тільки для чорнових інструментів (свердел, зенкерів). Чистові інструменти, такі, як розвертка, повинні в цьому випадку мати спеціальну напрямну частину, оскільки при напрямі калібрувальною частиною інструмент швидко втрачає розмір в результаті тертя по загартованій кондукторній втулці.

Під час оброблення корпусних деталей великих габаритів досить часто використовують подвійні напрямні – передню та задню. Схема таких напрямних подана на рис. 8.6.

Схему за рис. 8.6,а застосовують під час оброблення (наприклад, розвертування) посадкових отворів у корпусних деталях. Схему за рис. 8.6,б застосовують під час утворення точних різьбових отворів.

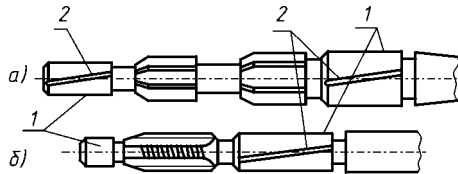


Рис. 8.6. Подвійні напрямні:

- 1 – напрямна; 2 – канавка для попередження пакування дрібної стружки.

8.3 Матеріал напрямної частини

Основними вимогами до напрямної частини є:

- висока точність розмірів (не повинно бути великого зазору між напрямною частиною інструмента і напрямною поверхнею оброблюваної деталі або пристрою);
- висока зносостійкість, оскільки напрямна треться об деталь або пристрій із швидкістю різання.

Тому напрямні частини виготовляють із загартованих на високу твердість інструментальних вуглецевих або легованих сталей (зокрема швидкорізальних), звертаючи увагу на технологічність конструкції інструмента в цілому. Це означає, що змінні напрямні частини є більш доцільними ніж постійні.

У цілісних і складених швидкорізальних інструментах частина напрямної є продовженням робочою, а її матеріалом – матеріал робочої частини, а саме швидкорізальна сталь.

Якщо корпус інструмента виготовлено із конструкційної сталі (зенкери, розвертки оснащені твердими сплавами або ножами з швидкорізальною сталлю), то матеріалом напрямної частини може бути матеріал корпусу, але підданий додатковій обробці для підвищення зносостійкості (гарт після цементації, хромування).

8.4 Місце напрямних частин

Принципово питання розташування напрямної частини вирішується просто. Інструменти можуть мати тільки передню напрямну частину (розташована перед робочою частиною), тільки задню (розташована за робочою частиною) або передню і задню одночасно незалежно від способу напрямку (по деталі або пристрою).

Направні елементи можуть, як передувати інструменту (рис. 8.7,а), так і бути розташованими за ним (рис. 8.7,б). Схема за рис. 8.7,а передбачає, що розвертка центрується за віссю оброблюваного отвору (або за спеціальною напрямною втулкою, що розташована поза отвором). Схема за рис. 8.7,б передбачає, що розвертка центрується за

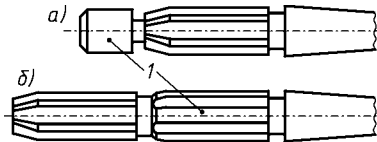


Рис. 8.7. Розташування напрямних:
1 – напрямні елементи.

віссю вже обробленого отвору, який має більший діаметр (зазвичай це корпусні деталі).

Подвійні напрямні застосовують у разі небезпеки зміни напрямку руху інструмента щодо заготовки:

- зенкерування і розвертування довгих отворів інструментами з короткою калібрувальною частиною;
- обробка отворів, коли технологічна система організована таким чином, що під дією власної ваги деталі або інструмента, останні можуть змінити своє положення щодо один одного.

Наприклад, протягування внутрішніх поверхонь на протяжних верстатах, зенкерування або розвертування декількох співвісних отворів, розташованих на великій довжині.

У решті всіх випадків застосовують тільки одну напрямну: передню (напрямок по оброблюваній поверхні) або задню (напрямок по обробленій поверхні або пристрою).

Найбільш точне направлення мають інструменти в яких напрямна та частина та безпосередньо сам інструмент є єдиною цілісною конструкцією.



Рис. 8.9. Змінний зенкер

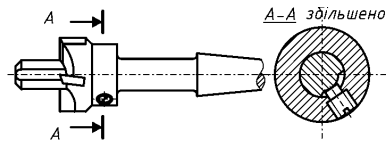


Рис. 8.8. Змінний зенкер на оправці

Змінні напрямні частини з механічним кріпленням до робочої частини застосовують тільки у випадках, коли цілісна або складена конструкція є не технологічна або нездійсненна.

Так, наприклад, у зенкера для обробки поглиблень під головки гвинтів (зенкування) передня частина напрямної не дозволяє утворити зуби на торці зенкера (рис. 8.8 та 8.9).

Тому її роблять змінною і сполучають з циліндровим хвостовиком з додатковою фіксацією гвинтом.

8.5 Конструкція напрямної

Конструктивне оформлення напрямної частини витікає з вимог, що пред'являють до неї. Так, розміри в поперечному перетині напрямної повинні забезпечувати мінімальний зазор з напрямними елементами заготовки або пристрою.

Довжина

Довжину напрямної приймають рівною приблизно 1,5 розміру поперечного перетину напрямної частини. А в разі застосування пристрою – додатково збільшують на довжину переміщення інструмента в роботі.

Наприклад, довжина задньої напрямної зенкера, що направляє-ть-ся по кондукторній втулці, дорівнює півтора діаметри отвору напрямної втулки плюс довжина зенкерування (глибини отвору, що обробляють).

Форма

Форма напрямної частини повинна копіювати форму елемента, який направляє інструмент. У зенкерів, розверток і круглих протяжок вона циліндрова.

Передня напрямна шліцьової протяжки циліндрова (відповідає формі отвору в заготовці), а задня – шліцьова, повторює форму обробленого шліцьового валу.

Для однопрохідного нарізування точних внутрішніх різьб передня напрямна мітчика циліндрова (по отвору), а задня – різьбова, причому кращі результати забезпечуються при напрямі задній напрямній частині по кондукторній втулці пристосування. Передня частина напрямної обмежує радіальні коливання мітчика, а різьбова – забезпечує точний закон гвинтового руху, що порушується осьовими силами.

При багатопрохідному нарізуванні точної наскрізної різьби можна обмежитися тільки передньою напрямною, а при нарізуванні глухого отвору – тільки задньою різьбовою напрямною.

Питання для самоконтролю

1. Необхідність і способи наряду інструментів в роботі.
2. Кондукторні втулки.
3. Матеріали напрямних частин інструментів.
4. Напрямні зенкерів для оброблення ступінчатих отворів.
5. Напрямні зенкерів для оброблення посадкових поверхонь на литві.
6. Вибір кількості напрямних елементів.
7. Конструкції насадних зенкерів.
8. Канавки на напрямних елементах.
9. Призначення циліндричних напрямних мітчиків.
10. Довжина напрямного елемента.
11. Розміри напрямних елементів.
12. Призначення різбових напрямних мітчиків.
13. Форма напрямних елементів.
14. Місця розташування напрямних на інструменті.
15. Методи з'єднання напрямних частин з тілом інструмента.
16. Вимоги до форми, зносостійкості і точності розташування напрямних частин.
17. Способи забезпечення наведення інструмента в оброблюваному отворі.

9 ПРОЕКТУВАННЯ ЗБІРНОГО ІНСТРУМЕНТА

У сучасних умовах, коли терміни проектування інструмента скорочуються і одночасно підвищуються вимоги до їх якості³², особливо актуальним є використання ефективніших технологій проектування і виготовлення на базі застосування CAD/CAM/CAE-систем.

9.1 Підготовчий етап проектування

Початковий етап концептуального проектування об'єднує процедури структурного синтезу збірного інструмента і загальноінженерні розрахунки, що визначають основні параметри і характеристики проектуваного інструмента.

Як правило, сучасні системи проектування універсального призначення не мають вбудованих функцій призначених для проектування саме різального інструмента. Проте, мають потужні засоби розробки різних конструктивних елементів, що дозволяє сформувати відповідні розрахункові модулі і навіть інтегрувати їх в базову систему.

Різний рівень інтеграції таких модулів (різні зовнішні або внутрішні процедури і функції) CAD/CAM/CAE-систем мають можливості обміну даними із зовнішніми програмами (базами даних, системами інженерного аналізу). Це дозволяє вибирати найбільш ефективні шляхи вирішення інженерних задач проектування спеціального високопродуктивного різального інструмента.

9.2 Основний етап проектування

9.2.1 Концептуальне проектування

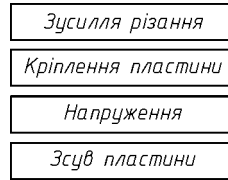
На етапі концептуального проектування збірного інструмента вирішують питання вибору конструкції вузла кріплення змінної багатогранної пластини, найбільш відповідної для заданих умов різання.

Критерії оптимізації вузла кріплення пластини можуть бути різними. Одними з основних критеріїв є напружено-деформований стан

³²Головна проблема в конкурентах. Може статись так, що поки Ви будете проектувати "найкращий" інструмент, ваші конкуренти вже почнуть його продавати на ринку. І саме неприємне це те, що їх товар може і не сами кращий. Але прибуток отримують вони.

змінного різального елемента та динамічна точність інструмента³³.

Детально методика оцінки напружено-деформованого стану різальної пластини і динамічної точності описана в роботах³⁴. Методика (рис. 9.1) включає розрахунок зусиль, закріплення змінної багатогранної пластини, визначення напружень в різальній пластині та зсувів її вершини в процесі різання.



На основі даної методики оцінки якості збірного інструмента можливо виконати порівняльний аналіз вузлів кріплення збірного інструмента різної конструкції.

Рис. 9.1.
Проектування
кріплення пластини

Зусилля різання

Головним під час розрахунку конструкції кріплення змінного різального елемента є визначення зусиль різання, що будуть впливати на всю конструкцію.

Кріплення пластини

Схему кріплення змінної пластини вибирають залежно від типу обробки – чорнова, чистова, фасонна. У кожному разі доцільно використовувати конкретні схеми кріплення (рис. 9.2).

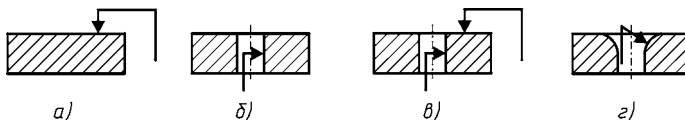


Рис. 9.2. Схеми кріплення різальних пластин

Схема а

Схема за рис. 9.2, а та табл. 9.1 забезпечує кріплення різальної пластини притисканням зверху. Це найбільш поширена та проста схема. Найчастіше її застосовують для інструментів токарної групи.

³³Точність, яку має або забезпечує інструмент у процесі роботи.

³⁴Любанов Д. Е. Напряженно-деформированное состояние твердосплавных режущих элементов при алмазной заточке / Д. Е. Любанов, А. С. Янющкин, П. В. Архипов. // Вектор науки тольяттинского государственного университета. Издательство: Тольяттинский государственный университет (Тольятти) ISSN: 2073-5073. – 2015. – №3. – С. 86–91.

Архипов П. В. Дефекты и напряжения в твёрдосплавных материалах при алмазной обработке / П. В. Архипов, О. И. Медведева, А. С. Янющкин. // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. – 2012. – №11. – С. 138–140.

Схема б

Схема за рис.9.2,б та табл.9.1 забезпечує кріплення різальної пластини притисканням зсередини отвору. Таку схему застосовують для токарного інструмента, який обточує фасонну поверхню. Вона забезпечує вільний схід стружки у будь-якому напрямі.

Схема в

Схема за рис.9.2,в та табл.9.1 забезпечує найбільш жорстке та надійне кріплення різальної пластини. Пластина одночасно притиснута як зверху, так і з середини. Таку конструкцію застосовують для всіх типів інструмента, який має значні навантаження.

Схема г

Схема за рис.9.2,г та табл.9.1 забезпечує мінімальні розміри кріплення. Її застосовують у випадках малих розмірів інструмента.

Головними критеріями вибору схеми кріплення пластини є:

- здатність кріплення витримати зусилля різання;
- здатність забезпечити гарантований відвід стружки.

Напруження

Під дією зусиль різання в пластині виникають внутрішні напруження. Найбільш небезпечними є напруження вигину твердосплавної пластини – вона може переломитись навпіл. Тому необхідно забезпечити міцну опору.

Це здійснюють за допомогою так-званої “підкладки”. Під твердосплавну різальну пластину підкладають сталеву загартовану пластинку. В результаті – твердосплавна пластина опирається не на корпус інструмента, а на загартовану пластину, яка вже передає зусилля на відносно м’який корпус.

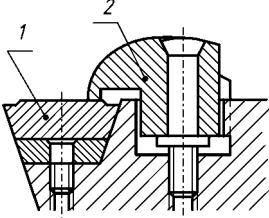
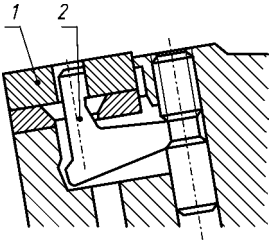
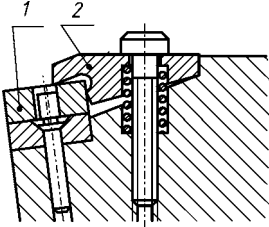
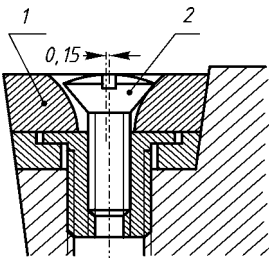
Зсув пластини

У разі розмірної обробки деталі необхідно забезпечити незмінне положення вершини інструмента, що досягається вибором доцільної конструкції кріплення різального елемента.

9.2.2 Геометрична модель

На цьому етапі на основі наявної інформації про основні параметри інструмента формують геометрично точний опис інструмента і генерують його зображення на екрані монітора (рис.9.3).

Табл. 9.1. Конструкція схем кріплення

Конструкція	Характеристики
<p>Схема а</p> 	<p>Різальна пластина 1 притиснута зверху накладним важелем 2.</p> <p>Стружка сходить по передній поверхні, але може пакетуватись перед важелем 2.</p> <p>Різальні сили притискають пластину до корпусу інструмента.</p>
<p>Схема б</p> 	<p>Різальна пластина 1 притиснута важелем 2 до корпусу інструмента.</p> <p>Головна особливість схеми – вільний схід стружки по передній поверхні пластини.</p>
<p>Схема в</p> 	<p>Різальна пластина 1 притиснена до корпусу інструмента накладкою 2.</p> <p>У не робочому стані пластина 1 притиснена накладкою 2 до штифта в центрі отвору.</p> <p>Під час роботи зусилля різання притискають пластину до накладки. Схему застосовують для чорнового оброблення з великими навантаженнями.</p>
<p>Схема г</p> 	<p>Різальна пластина 1 притиснена конічною головкою 2 гвинта, але вісь гвинта й вісь його головки не співпадають. Вони різняться на 0,15 мм.</p> <p>Тому головка гвинта притискає різальну пластину тільки з однієї сторони у напрямку до корпусу.</p>

Розроблена модель повинна не тільки відображати у всіх ракурсах реалістичну інформацію про зовнішній вигляд і особливості інструмента, але й забезпечити використання геометричної інформації в подальшій роботі над проектом.

Це стосується не тільки даних для технологічних завдань виготовлення інструмента (розміри і форми оброблюваних поверхонь), але і для:

- техніко-економічних розрахунків (центри мас, периметри, площі і об'єми);
- ведення проектів (найменування і кількості складальних одиниць, деталей в збірках).

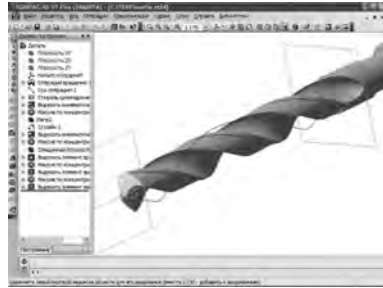


Рис. 9.3. Геометрична модель



Рис. 9.4. Логотип Simatron

Геометрична модель інструмента може бути розроблена в системі Cimatron (рис. 9.4), яка дозволяє створювати як поверхневі, так і твердотільні моделі³⁵. Для моделювання збірного інструмента, що має складну просторову геометрію, зручніше використовувати поверхневу модель. Для збірних різців можна використовувати бібліотеку стандартних різальних пластин, елементів вузла кріплення і заготовок корпусів різців.

При використанні змінних різальних пласти з плоскою передньою поверхнею елементи подрібнення стружки проектують спільно з державкою або використовують накладні стружколоми (рис. 9.5), на яких може бути розроблена відповідна бібліотека, що враховує особливості подрібнення стружки для різних оброблюваних матеріалів і умов різання.

³⁵Cimatron – ізраїльська компанія-розробник програмного забезпечення, яка проводить програмне забезпечення CAD/CAM для проектування та виготовлення різальних інструментів і програм для ЧПК. Компанія була зареєстрована на біржі Nasdaq під символом CIMT до придбання компанією 3D Systems у 2014 році. Дочірня компанія Cimatron China Ltd.

Використання САД-систем при проектуванні інструмента дозволяє із заданою точністю (без додаткових розрахунків) визначати геометрію паза під різальну пластину і елементи її кріплення в державці.

Аналогічно створюють модель елементів кріплення змінних багатогранної пластини (наприклад, гвинт з конічною головою). Для перевірки всієї конструкції в цілому виконують збірку, що дозволяє отримати інформацію про зовнішній вигляд і особливості інструмента. Побудована геометрична модель надалі використовується для генерації керувальних програм обробкою окремих елементів на верстатах з числовим програмним керуванням.

Геометричну модель збірного різального інструмента, створену в системі *Simatrop* у вигляді файлу початкових даних, передають до препроцесору системи *ANSYS* для проведення інженерного аналізу методом кінцевих елементів³⁶.

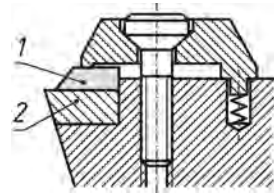


Рис. 9.5. Накладний стружколом:
1 – стружколом;
2 – різальна пластина.

9.2.3 Інженерний аналіз

На цьому етапі сформовану модель піддають розрахунковому дослідженню на механічні, теплові та інші види дій з метою отримання відомостей відносно міцності, динамічні, теплофізичні та інші властивості виробу, що мають зв'язок з вихідними показниками якості різального інструмента, зокрема критеріями працездатності.

Етап 1

Поєднання вбудованих можливостей автоматизації підготовки даних (наприклад, автоматична генерація кінцево-елементних сіток, використання типових наборів властивостей матеріалів) з оперативністю розрахунку альтернативних варіантів (зокрема за користувачем, що задається, сценаріям) полегшує обґрунтований вибір найбільш ефективних варіантів конструкції інструмента. За результатами цього етапу первинна модель піддається, у разі потреби, коректуванню.

³⁶ *ANSYS* – універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу, що існує і розвивається впродовж останніх 30 років, є досить популярною у фахівців у сфері автоматизованих інженерних розрахунків і РЕ вирішення лінійних і нелінійних, стаціонарних і нестаціонарних просторових задач механіки.

На етапі інженерного аналізу в першу чергу оцінюють напружено-деформований стан (рис. 9.6) різального елемента, як найбільш небезпечного з точки зору міцності елементу збірного різального інструмента.



Рис. 9.6. Напружено-деформований стан свердла

Задача визначення напружено-деформованого стану збірного різального інструмента в цілому фізично лінійне (виконується закон Гука) і геометрично нелінійна (з урахуванням контактного характеру взаємодії елементів збірного різального інструмента).

Етап 2

Вирішення нелінійних задач здійснюють ітераційними методами, що вимагає значно більших витрат, ніж вирішення лінійних задач. Тому доцільно поставлені задачі вирішувати з використанням суперелементного підходу. Для кожного елемента збірного різального інструмента розглядають окремо:

- змінний різальний елемент (бажано стандартної конструкції) із наявних у базі;
- державку або корпус збірного інструмента;
- кріпильні елементи (гвинти, важелі).

Етап 3

У препроцесорі ANSYS формують кінцево-елементні моделі, які потім за допомогою відомих процедур перетворюють у суперелементи. Таким чином, загальна кінцево-елементна модель складалася з трьох суперелементів:

- змінного різального елемента;
- державки або оправки;
- кріпильних гвинтів та інших елементів.

У процесі основного рішення, так званого проході переміщень, визначають загальні деформації всього збірного різального інструмента в цілому і зусилля взаємодії між його елементами.

Етап 4

Потім виконують додаткове рішення для вибраного елемента, так званий прохід навантаження, в якому визначають основні компоненти напружень в суперелементі.

За компонентами напружень розраховують еквівалентне напруження за вибраною теорією міцності (наприклад, за теорією Мора³⁷) і оцінюють коефіцієнт запасу міцності.

9.2.4 Технологічне проектування

Етап технологічного проектування передбачає отримання програм обробки різанням заготовки корпусу інструмента на верстаті з ЧПК.

Етап 1

Складність складання відповідної програми полягає у визначенні координат точок, що визначають позиціювання інструмента відносно корпусу. Особливо складне знаходження цих координат для точки центру отворів під гвинти. У ручному режимі розрахунок цих координат займає основну частку часу на складання програми обробки.

Наявність сформованою в системі Cimatron моделі інструмента (що включає окремі підмоделі на кожну складальну одиницю), дозволяє вирішити задачу розробки програми легко і без помилок перерахунку координат.

Етап 2

Далі визначають технологічні параметри обробки (режими різання, наявність або відсутність охолодження і так далі), робочі параметри інструмента (матеріал різальної частини, швидкості робочих та холостих ходів, початкові точки і так далі), характер і особливі точки траєкторії руху інструмента та інші дані.

9.2.5 Імітація оброблення

Після того, як система автоматично перевірить коректність заданих параметрів, можна приступати до автоматичного розрахунку траєкторії, що супроводжується формуванням тексту програми виготовлення збірного інструмента (зазвичай корпусу).

³⁷Теорія названа в честь Шарля Огюстена де Кулона та Отто Кристиана Мора. У основі теорії лежить гіпотеза Мора про залежність граничного дотичного напруження від середньої нормального напруження і гіпотеза Кулона про те, що названа залежність обумовлена внутрішнім тертям в твердому тілі. Шарль Огюстен Кулон (фр. *Charles-Augustin de Coulomb*; *14 червня 1736 — †23 серпня 1806) – французький фізик, військовий інженер, винахідник основного закону електростатики – закону Кулона. Христіан Отто Мор (нім. *Christian Otto Mohr*; 8 жовтня 1835 – 3 жовтня 1918) – німецький механік та інженер, відомий своїми роботами в галузі опору матеріалів та теоретичної механіки.

У процесі розрахунку траєкторія інструмента другого порядку³⁸, відображається на екрані монітора, що дозволяє здійснювати візуальний контроль правильності обробки. Після закінчення розрахунку необхідно ввести команду закриття траєкторії.

При необхідності доцільно проконтролювати процес обробки ретельніше, імітувавши обробку на екрані монітора за допомогою команди SIMULATE. Для цього необхідно задати геометричні параметри заготовки, вибрати конкретну траєкторію для її імітації, для зручнішого спостереження за процесом задати параметри відображення (швидкість, колірну гамму).

Імітація обробки (рис. 9.7) дозволяє вирішити цілий комплекс задач, пов'язаних з контролем якості і коректності процесу обробки. Зокрема, системою надається можливість автоматичного відображення необроблених поверхонь. При включенні до складу інструмента елементів оснащення будуть відстежені також особливості взаємодії оснащення з оброблюваною заготовкою.

На завершальній стадії роботи модуля обробки з ЧПК системи Cimatron створюється програма обробки розробленого інструмента.



Рис. 9.7. Імітація фрезерування корпусу

9.2.6 Розробка технології виготовлення

В основному цей етап передбачає створення керуючих програм, що управляють верстатами з числовим керуванням і містить наступні стадії (процедури):

Модель заготовки

Створення моделі заготовки. На даній стадії може бути використана база стандартних або типових заготовок.

План оброблення

Інтерактивне складання планів обробки і їх параметризація. Тут зазвичай використовують типові процедури і плани обробки, що істотно прискорює і підвищує якість проектування технологічного процесу.

³⁸Інструмент другого порядку, це – інструмент, який застосовують для виготовлення іншого інструмента.

Траєкторії

Розрахунок траєкторій з одночасним формуванням текстів керівних програм, на одній з універсальних мов технологічного програмування, що при необхідності дозволяє вручну скоректувати програму, що автоматично згенерувала.

Вбудовані можливості розрахунку програм, що управляють, дозволяють здійснювати його в неробочий час в пакетному режимі, що значно прискорює процес підготовки керівних програм. Зазвичай в системі є розвинені засоби оптимізації траєкторій по декількох критеріях.

Є також прості функції автоматичного розрахунку довжини траєкторії по окремих ділянках і загальною, часу робочих і допоміжних ходів, об'єму матеріалу, що знімається, і т.д.

Візуалізація

Візуалізація і контроль виконання програми, що управляє, у покроковому або безперервному режимі в реальному або прискореному масштабі часу. Імітація процесу обробки виробу супроводжується візуалізацією його характеру і тимчасових параметрів, необроблених областей, а також особливостей устаткування, оснащення і виробу. По результатах складається протокол обробки.

Формування програм

формування в автоматичному режимі програм, що управляють, для конкретного верстата з ЧПУ на основі використання програм-постпроцесорів. Вбудовані можливості створення користувачем оригінальних процесорів поста дозволяють досить просто адаптувати систему під наявне устаткування. Дана процедура може також проводитися в пакетному режимі.

Сформована технологія надалі може бути передана по каналах зв'язку безпосередньо в систему ЧПУ верстата і (при дотриманні необхідних заходів щодо синхронізації, настройки і забезпечення безпеки) виконана. таким чином, загалом, декілька спрощено, технічно реалізується ідея безпаперової технології виготовлення збірного інструмента.

Повною мірою ідея безпаперової технології в даний час навряд чи життєздатна по ряду технічних, економічних і організаційних причин. Проте інтеграція конструкторсько-технологічних процедур в рамках наскрізного проектування вже сьогодні цілком реалізовується практично в рамках CAD/CAM/CAE-систем.

9.3 Конструкторська документація

На підставі отриманої моделі збірного різального інструмента в напівавтоматичному режимі формують відповідні схеми, креслення, ескізи, специфікації, відомості. Випускають електронні або паперові копії документів.

Запропонований алгоритм проектування і виготовлення до-зволяє забезпечити необхідні показники якості різального інструмента на стадії розробки проекту з опрацюванням технологічного процесу виготовлення збірного різального інструмента у вигляді наскрізного процесу безпаперового проектування.

Питання для самоконтролю

1. Підготовчий етап проектування.
2. У чому полягає концептуальне проектування?
3. Які існують схеми кріплення різального елемента?
4. Чому необхідно враховувати внутрішні напруження в різальній пластині?
5. Чи можливий зсув різальної пластини під дією зусиль різання та як цьому запобігти?
6. Що таке геометрична модель і яке її призначення?
7. Опишіть етапи інженерного аналізу.
8. У чому полягає технологічне проектування?
9. Для чого здійснюють імітацію обробки?
10. У чому полягає розробка технологій виготовлення?
11. Зміст конструкторської документації.

10 ІНСТРУМЕНТИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИРОБНИЦТВА

10.1 Проектування інструментів

Інструменти автоматизованих виробництв, як і будь-які інші, повинні при заданій якості обробки забезпечити мінімум витрат на операціях їх використання. Проте у зв'язку з особливостями функціонування автоматизованих виробництв до інструментів пред'являють додаткові вимоги, такі, як:

- висока надійність роботи інструмента;
- високі і стабільні різальні властивості;
- задовільне формування і відведення стружки;
- малі витрати часу на зміну інструмента;
- взаємозамінюваність, що забезпечується настроюванням інструмента на розмір поза верстатом;
- універсальність застосування для типових оброблюваних поверхонь різних деталей на різних верстатах з ЧПК;
- підвищена точність інструментів.

Всі ці вимоги вписуються в три основні, раніше розглянуті:

- висока продуктивність;
- мала енергоємність процесу різання;
- економічність інструмента.

Шляхи реалізації наведених вимог принципово такі ж, як і для інструментів взагалі. Проте посилення вимог, пов'язаних з експлуатацією автоматизованого устаткування, вимагає пошуку інших шляхів вирішення ряду задач.

Якщо, відповідно до алгоритму проектування, поетапно проаналізувати вирішення завдань, то можна виділити наступні особливості:

- інструментальний матеріал;
- геометричні параметри;
- відведення стружки;
- крок різальних елементів;
- напрямна частина;
- взаємозамінюваність.

Інструментальний матеріал

Перш за все, при виборі інструментального матеріалу прагнуть використовувати матеріал вищої теплостійкості та міцності з метою підвищення продуктивності і надійності інструмента.

Ці вимоги не завжди сумісні. Тому доводиться приймати компромісне економічно вигідне рішення. З метою підвищення універсальності інструментів, інструментальні матеріали у вигляді багатограних непереточуваних пластин механічно кріплять до корпусів. В результаті такий інструмент можна швидко переоснастити пластинами іншого інструментального матеріалу.

Широке використання змінних різальних елементів (змінних пластин), само по собі зумовлює конструкції інструментів з прогресивними схемами різання, тобто примусово забезпечується використання таких схем.

Геометричні параметри

Геометричні параметри інструментів із змінними пластинами забезпечуються як за рахунок параметрів самої пластини, так і за рахунок спеціальної установки пластини в корпусі інструмента.

Що стосується вибору оптимальних значень задніх кутів і кутів нахилу різальних кромок, то немає ніяких перешкод на шляху реалізації цих вимог. Пластини виготовляють із задніми кутами від 0 до 30° з малим кроком зміни³⁹, що достатньо для точного прийняття оптимальних значень задніх кутів.

Крім того, одночасно підвищується універсальність інструментів. Легко замінивши різальну пластину, без переточування і без заміни корпусу можна отримати інструменти з іншими кутами різання.

Передні кути на різальних елементах отримують за рахунок спеціальної форми передньої поверхні пластини, що утворюється під час її виготовлення. Крім того, вони залежать також і від кута повороту пластини, необхідного для отримання вибраних значень геометричних параметрів.

Тому реалізацію оптимальних значень геометричних параметрів і досягнення більшої універсальності інструментів, можливо розширити за рахунок різних кутів у змінних багатограних пластин та їх спеціального встановлення.

³⁹Зазвичай крок зміни величини кутів становить 5 градусів, що достатньо практично для всіх випадків оброблення різанням.

Відведення стружки

Посилювання вимог до надійного способу формування стружки викликало створення змінних пластин з фігурними передніми поверхнями, що дозволяють забезпечити подрібнення стружки в широкому діапазоні режимів різання. Приклади таких рішень наведені на рис. 10.1.



Рис. 10.1. Передні поверхні змінних різальних елементів

Крок різальних елементів

Оптимізація кроку зубів збірних інструментів автоматизованого виробництва, зводиться до пошуку таких способів закріплення пластин, які за всіх інших умов забезпечать мінімальне значення кроку.

Оптимізація кроку зубів цілісних і збірних інструментів нічим не відрізняються між собою.

Однак слід пам'ятати, що оптимізація кроку економічно доцільна для інструментів у масовому виробництві на жорстких автоматичних лініях⁴⁰ та агрегатних верстатах.

Для верстатів з ЧПК доцільно застосовувати розширену номенклатуру стандартних інструментів, тобто робити інструменти з різним рядом кількості зубів. Наприклад, циліндричну фрезу одного конкретного діаметра виконувати у трьох варіантах з різною кількістю зубів⁴¹ за рис. 10.2.



Рис. 10.2. Фрези різного кроку
[Sandvik Coromant]

⁴⁰ Мається на увазі механічна жорсткість устаткування.

⁴¹ Корпорація Sandvik Coromant виготовляє фрези одного діаметра, але призначені для різних умов оброблення. А саме – чорнові, напівчистові та чистові з різною кількістю зубів, а відповідно і їх кроком.

Робоча, напрямна та приєднувальна частини

У вирішенні решти задач за алгоритмом проектування робочої частини інструментів для автоматизованого машинобудування принципів особливостей немає.

Немає їх і в проектуванні напрямних частин. Різниця полягає лише в тому, що менша кількість інструментів має напрямні частини, оскільки верстати з ЧПК забезпечують точне позиціювання інструмента. З тієї ж причини в багатьох випадках відпадає необхідність в рухомому з'єднанні інструмента із шпинделем верстата.

Проектування приєднувальної частини (інструмента автоматизовано виробництва) відрізняється, головним чином тим, що треба забезпечити швидкозміне кріплення інструментів у разі ручної заміни. Приклад подібних рішень для різців приведено на рис. 10.3.

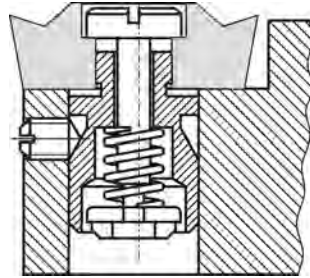


Рис. 10.3. Швидка зміна різального елемента

Відрізняється від стандартних приєднувальна частина інструментів модульних конструкцій, оскільки стандартні елементи приєднувальної частини інструментів загального призначення не забезпечують необхідної точності позиціювання і жорсткості.

Взаємозамінюваність

Взаємозамінюваність інструментів забезпечується введенням в їх конструкцію компенсаторів у вигляді гвинтів з сферичною головкою, що дозволяють заздалегідь, поза верстатом, налаштовувати необхідний розмір L інструмента. Після встановлення такого інструмента на верстат, його настроювання не потрібно. Уявлення про конструкцію таких інструментів і методах їх настроювання можна отримати з розгляду рис. 10.4.

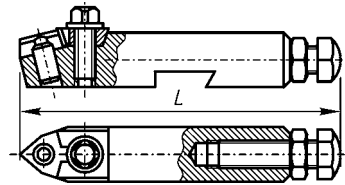


Рис. 10.4. Різець з настроюванням на розмір поза верстатом

10.2 Модульна система інструмента

В автоматизованому виробництві універсальність інструментів досягається за рахунок модульності конструкцій. Будь-який інструмент конкретного призначення можна отримати шляхом швидкої збірки з уніфікованих модулів. Прикладами можуть служити інструменти на рис. 10.5.

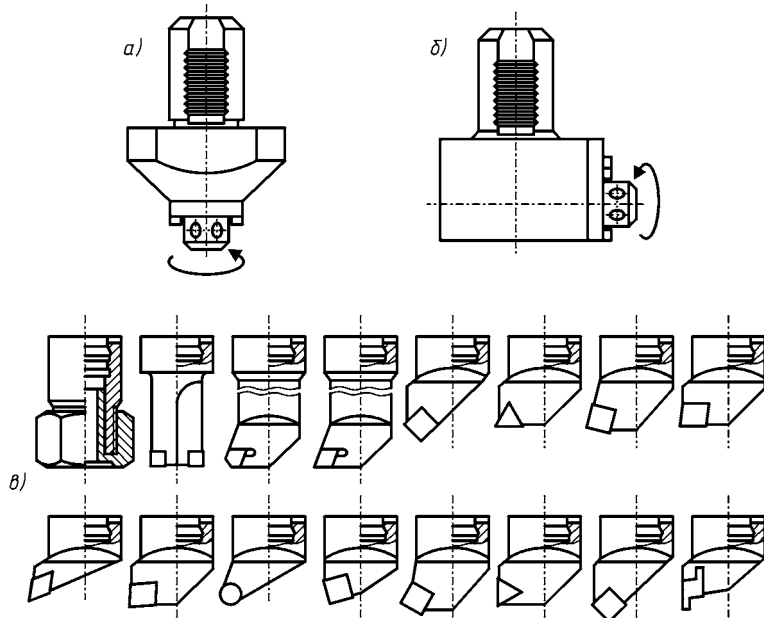


Рис. 10.5. Модульна система інструментів токарної групи

a – з осьовим закріпленням модулю;

б – з кутовим закріпленням модулю;

в – змінні модулі.

У даному випадку зображена модульна система верстатів токарної групи. Базовий модуль (рис. 10.5, *a* або *б*) закріплено у шпинделі верстата. Змінні модулі за рис. 10.5, *в* мають різну форму та призначення. Отже, маючи всього два базових модуля можливо отримати (зібрати) 16 різних конструкцій (модулів) різального інструмента.

Таким способом (модульність конструкцій) вирішується суперечність між універсальністю і спеціалізацією інструмента.

Подібні модульні системи інструментів існують для всіх груп верстатів (свердлильні, фрезерні, токарні). Всі елементи, що входять до

складу модульної групи – уніфіковані для кожної групи верстатів і можуть бути зібрані в новий інструмент без зайвих витрат.

Позитивним є те, що уніфіковані модулі виготовляють на спеціалізованих підприємствах. В результаті маємо – низьку вартість модулів при високій якості.

Єдиним недоліком модульних конструкцій є знижена жорсткість і труднощі в досягненні необхідної точності позиціювання інструмента, оскільки інструмент збірний.

Висока точність інструмента залежить від точності виготовлення базових поверхонь, методів з'єднання різального інструмента з допоміжним інструментом і з верстатом. Для збереження точності позиціювання інструмента під час роботи важливу роль відіграє спосіб передачі зусиль різання з верстата на інструмент.

Картриджі

Використовують також і інші методи підвищення точності різальних інструментів із застосуванням картриджів (рис. 10.6).

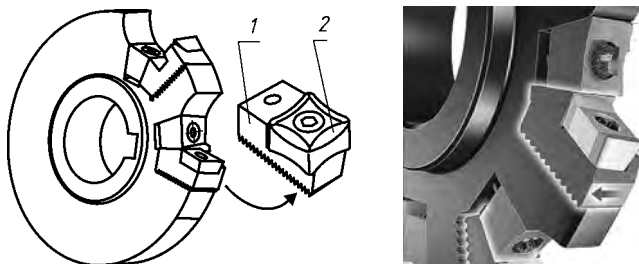


Рис. 10.6. Картридж (змінна касета):
1 – змінний картридж; 2 – різальна пластина.

Так, наприклад, висока точність багатозеркових інструментів із змінними різальними пластинами (зокрема фрез) досягається за рахунок регулювання положення картриджів (змінних касет) із встановленими в них змінними різальними пластинами.

Особливістю картриджної системи є те, що різальний елемент закріплюють не безпосередньо в корпусі інструмента, а за допомогою проміжного елемента – картриджа.

Така конструкція картриджа дозволяє регулювати положення вершин різального елемента незалежно від його положення відносно

корпусу інструмента. Найбільшого поширення картриджі знайшли у фрезерній та токарній групах різального інструмента.

Мікробори

Точність розточувальних інструментів забезпечується різцевими вставками з мікрометричним регулюванням положення вершини різця, так званими мікроборами.

На рис. 10.7 подана принципова конструкція різцевої вставки із настроюванням на необхідний розмір за допомогою гвинта. Таку конструкцію застосовують на токарних верстатах.

Конструкцію за рис. 10.8 застосовують на верстатах свердлильної або розточувальної групи. Обертаючи кільце 2 регулюють виліт вершини різального елемента.

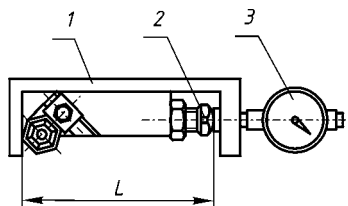


Рис. 10.7. Різцева вставка:
1 – скоба; 2 – упорний гвинт;
3 – годинниковий індикатор;
L – настроювальний розмір.

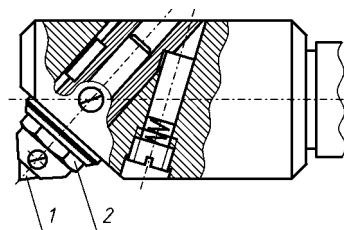


Рис. 10.8. Вставка Мікробор:
1 – різець; 2 – гайка для регулювання.

10.3 Проектування допоміжних інструментів

Допоміжні інструменти призначені для закріплення на верстатах різальних інструментів. Функціональні вимоги до допоміжних інструментів такі:

- точне позиціонування різальних кромek інструмента;
- можливість настройки інструментального блоку на розмір обробки поза верстатом;
- достатня міцність, жорсткість і вібростійкість;
- можливість підведення ЗОР до зони різання;
- можливість установки системи кодування.
- можливість швидкої збірки і заміни інструментальних блоків;

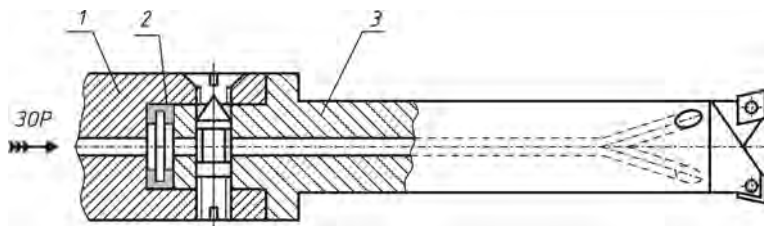


Рис. 10.9. З'єднання різального та допоміжного інструментів:

1 – базова оправка; 2 – затискна манжета;

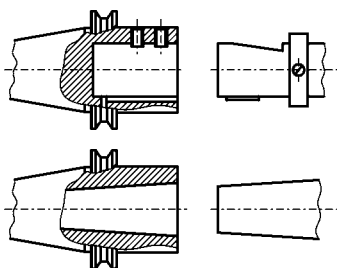
3 – розточувальна оправка.

- мінімальна номенклатура інструментів, що входять в систему або підсистему;
- універсальність, що допускає використання одних і тих же допоміжних інструментів для створення різних інструментальних блоків до різних верстатів;
- висока технологічність конструкції.

З цього переліку властивостей можна зробити висновок, що майже всі якісні характеристики, у тому числі і економічні, залежать від вузла кріплення або з'єднання. На рис. 10.9 подано приклад застосування розточувального різального інструмента та допоміжного.

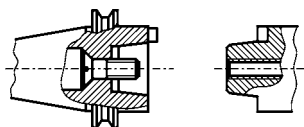
Різальний інструмент 3 закріплено в шпинделі 1. Для того, щоб подати охолоджувальну рідину до різальних кромek застосовують допоміжний елемент 2, який складається із ущільнювальних кілець та затискного замка.

Конструкція хвостовиків базової оправки для створення різних модулів інструментального блоку багатоцільового верстата можуть мати начтупну конструкцію:

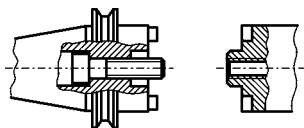


Кріплення за допомогою гвинтів, що затягують за нахиленої фаскою.

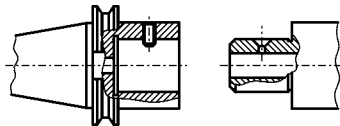
Кріплення за допомогою стандартного конуса Морзе.



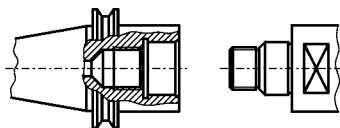
Кріплення торцевою шпонкою за допомогою затягування спеціальним гвинтом через оправку.



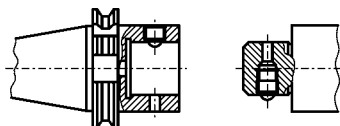
Кріплення за допомогою осьового затягування гвинтом через базову оправку.



Базування за циліндричною оправкою із кріпленням одним гвинтом.



Безпосереднє загвинчування інструмента в оправку



Кріплення за допомогою спеціального механізму.

Існує декілька базових (найпоширеніших) конструкцій з'єднання допоміжного та різального інструментів між собою.

У системі MCS-S фірми Hertel (рис. 10.10) при закручуванні гвинтів 2 та 6 відбувається затягування циліндричного хвостовика інструмента 4 в державку 1 за допомогою сухаря 5 і кульок із торцевими зубцями 3 до створення необхідного натягу на зубчатих торцях модулів 1 і 4.

Таке з'єднання може передати більший крутний момент і має більшу жорсткість. Тому система MCS-S може застосовуватися і для сверлильно-фрезерно-розточувальних верстатів⁴².

⁴²У сучасному автоматизованому виробництві є тенденція до об'єднання верстатів різних груп. Так останні моделі верстатів можуть здійснювати як токарне точіння, так і фрезерування зубчатих коліс з однієї установки заготовки.

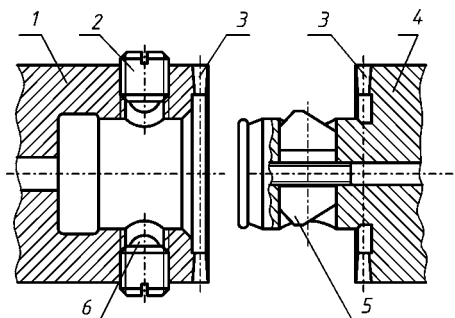


Рис. 10.10. Система MCS-S фірми Hertel

Система MCH-50 фірми Hertel (рис. 10.11) відрізняється від попередньої (рис. 10.10) тим, що має плоскі торці інструмента 4 і державки 1.

Модульна система RS фірми Hertel (рис. 10.12) дещо складніше попередніх. Тут використовується так званий кільцевий сегментний затиск. У шпинделі 4 є кільцеве розточування, в яке вставляють трубчастий хвостовик інструмента 5. Тяга 3 розтискає кільце 5 та затягує оправку 2 з різальним елементом 1.

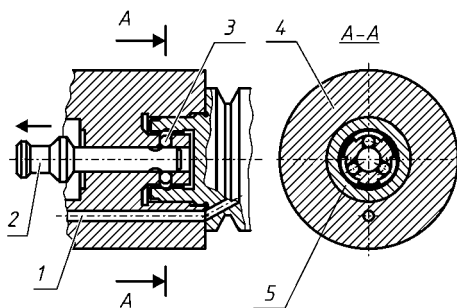


Рис. 10.11. Система MCH-50 фірми Hertel

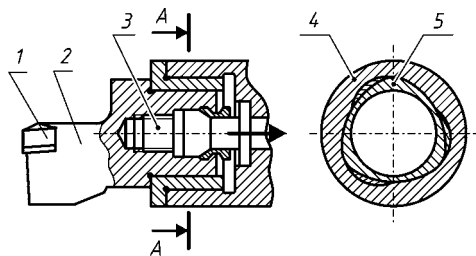


Рис. 10.12. Система RS фірми Hertel

Розглянуті вузли кріплення можна використовувати для з'єднування будь-яких різальних і допоміжних інструментів при створенні інструментальних блоків до будь-яких верстатів. Однак, найбільшого поширення вони знайшли на верстатах токарної групи.

Оригінальний і технологічний вузол кріплення різцевого блоку 1 в різцетримачі або оправці 4 за допомогою тяги 2 (рис. 10.13) розроблений фірмою Sandvik Coromant. Під дією сили прикладеної до тяги 2, різцевий блок притискається до торця оправки і до її бічних площин в результаті деформації щічок 3 модульного різцевого блоку.

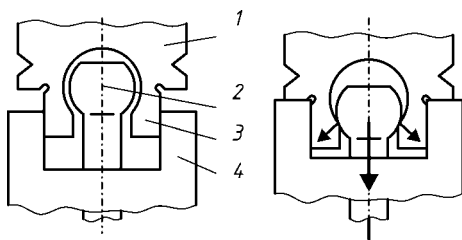


Рис. 10.13. Тримач корпорації Sandvik Coromant

Зразки базових різцетримачів з підсистем допоміжних інструментів до токарних верстатів подано на рис. 10.14 та 10.15.

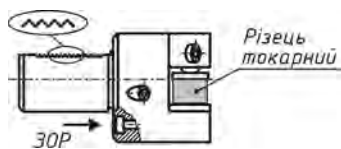


Рис. 10.14. Різцетримач з циліндричним хвостовиком

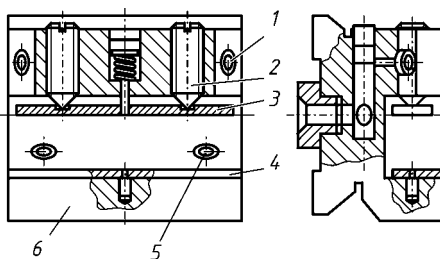


Рис. 10.15. Різцетримач з призмою

На рис. 10.15 прийняті наступні позначенні:

- 1 – куля підводу охолоджувальної рідини;
- 2 – гвинт кріплення притискної планки;
- 3 – притискна планка;
- 4 – опорна планка;
- 5 – регулювальний гвинт;
- 6 – корпус модулю.

У всіх розглянутих вузлах кріплення приєднувальна частина є малої довжини, що сприяє прискоренню заміни модулів. З позицій прискорення заміни інструментальних блоків і підвищення точності їх з'єднання із шпинделем верстатів, використання конічних з'єднань з конусністю 7:24 є не зовсім доцільне.

10.4 Кодування інструментів

Для забезпечення можливості автоматичного пошуку потрібного для роботи інструмента, виконують кодування гнізда інструментального магазина або інструментальні блоки на різальному або допоміжному модулі. Останнє раціональніше, оскільки інструменти в магазині можна розташовувати у будь-якому порядку.

Способи кодування інструмента різні. Найчастіше використовують кодувальні кільця (рис. 10.16), що обмацуються датчиками при пошуку. Інколи застосовують магнітні штрихи (на зразок штрихкоду в супермаркеті), що прочитуються магнітними датчиками.

Останніми роками кодування інструмента вдосконалилось і ускладнилось. Спеціальні кодувальні датчики (чіпи), вбудовані в інструмент, дозволяють записати не тільки код інструмента, але і його параметри, відпрацьований час і інші, необхідні для експлуатації відомості.

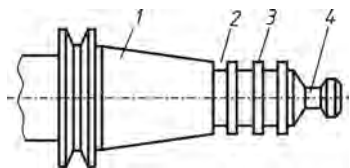


Рис. 10.16. Кодувальні кільця
1 – хвостовик; 2 – проміжне кільце; 3 – кодове кільце ;
4 – штир для захвату модулю.

Питання для самоконтролю

1. Вимоги до різальних інструментів автоматизованого виробництва.
2. Способи забезпечення додаткових або посилювання загальних вимог до різальних інструментів автоматизованого виробництва.
3. Функціональні вимоги до допоміжного інструмента в автоматизованому виробництві.
4. Особливості застосування інструментальних матеріалів автоматизованого виробництва.
5. Форма передніх поверхонь ральних елементів для покращення відведення стружки.
6. Зміна кроку різальних елементів для покращення працездатності інструмента.
7. Принцип дії робочої, прямої та приєднувальної частин інструмента автоматизованого виробництва.
8. Як забезпечується взаємозамінність інструментів?
9. В чому полягає принцип модульної системи інструментів?
10. Для чого застосовують різальні картриджі?
11. Принципи проектування допоміжного інструмента.
12. Як здійснюється кодування інструмента і навіщо?

11 ГЕОМЕТРИЧНІ ПАРАМЕТРИ ІНСТРУМЕНТА

11.1 Кінематичні характеристики різання

При видаленні припуску на обробку інструменту і заготовці необхідно придати відносний рух в певному напрямі і з відповідними швидкостями.

Кінематична схема різання

Сукупність рухів інструмента і оброблюваної заготовки, необхідних для отримання заданої поверхні, називається кінематичною схемою різання.

Кінематичні схеми загалом засновані на поєднанні (комбінації) декількох рівномірних рухів:

- прямолінійних;
- і обертальних.

Один з рухів, що надається інструменту або заготовці, називають головним рухом різання, а інший – рухом подачі.

Головний рух різання

Рух, який є необхідним для здійснення процесу перетворення припуску в стружку і який відбувається з найбільшою швидкістю в процесі різання.

Рух подачі

Рух, який є необхідним, щоб процес видалення припуску здійснювався безперервно або періодично для відділення шару матеріалу зі всієї оброблюваної поверхні.

На рис. 11.1 та 11.2 зображені схеми двох поширених видів обробки: стругання (рис. 11.1) і подовжнього точіння (рис. 11.2).

Під час стругання (рис. 11.1) головним рухом різання D_r є прямолінійний рух різця, а рухом подачі D_s – прямолінійний рух заготовки, що здійснюється після кожного подвійного ходу різця.

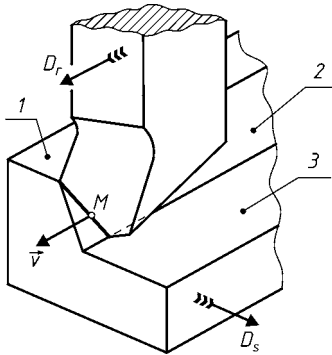


Рис. 11.1. Схема стругання

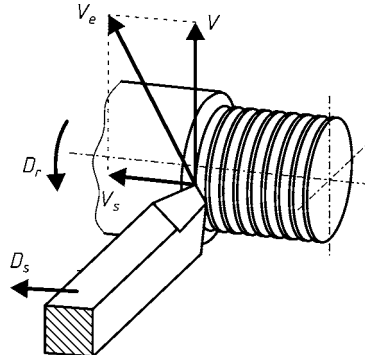


Рис. 11.2. Рухи в процесі різання при обточуванні

Утворення обробленої поверхні при точінні (рис. 11.2) здійснюється за рахунок відносного переміщення різця і заготовки, що включає два сумісні рухи:

- обертання заготовки навколо своєї осі (це є головний рух різання D_r);
- поступальний рух ріжучого різця уздовж осі заготовки (це є рух подачі D_s).

Швидкість руху різання V

Швидкість V даної точки різальної кромки або заготовки в головному русі різання.

Швидкість руху подачі V_s

Швидкість V_s даної точки різальної кромки в русі подачі D_s .

Результатний рух D_e

Сумарний рух D_e різального інструмента відносно заготовки, що включає головний рух різання D_r і рух подачі D_s .

Швидкість результатна V_e

Швидкість V_e даної точки різальної кромки в результатному русі різання.

В процесі видалення припуску із поверхні заготовки розрізняють характерні поверхні:

- оброблювану поверхню;
- оброблену поверхню;
- і поверхня різання.

Поверхня оброблювана

Поверхня заготовки (1 за рис. 11.1), яка віддаляється в результаті зняття припуску.

Поверхня оброблена

Поверхня (2 за рис. 11.1), що утворилася на деталі після зняття припуску.

Поверхня різання

Поверхня (3 за рис. 11.1), що безпосередньо утворюється різальною кромкою інструмента в процесі різання.

Ця поверхня є перехідною між оброблюваною і обробленою поверхнями, вона існує тільки під час різання і зникає після закінчення обробки.

Поверхня різання, з геометричної точки зору, утворена сукупністю траєкторій відносного робочого руху інструмента. Тому її форма визначається формою різальної кромки інструмента і поєднанням рухів деталі і інструмента в процесі різання. Наприклад:

- при струганні (рис. 11.1) поверхня різання є площиною;
- а при подовжньому точінні (рис. 11.2) – конволотною гвинтовою поверхнею.

У будь-якому разі поверхня різання, це слід різальної кромки відносно оброблюваної заготовки⁴³.

⁴³Інколи поилково поверхнею різання називають “слід різальної кромки і просто-рі”. Але це не так. Наприклад, при точінні різальна кромка різці залишається нерухомою у просторі.

При свердління обертається може або свердло, або деталь, але поверхня різання в обох випадках однакова – гвинтова.

11.2 Елементи інструмента

Будь-який різальний інструмент має конструктивні елементи притаманні всім інструментам, не залежно від конструкції або призначення. Так, наприклад, різальне лезо мають всі інструменти. Всі інструменти мають кріпильну частину.

Ці елементи можуть розрізнятися за формою або конструкцією, але їх призначення однакове для всіх інструментів.

Розглянемо ці елементи на прикладі токарного прохідного різця, як найбільш поширеного інструмента. Різець (рис. 11.3) складається з робочої 1 і кріпильної 2 частин.

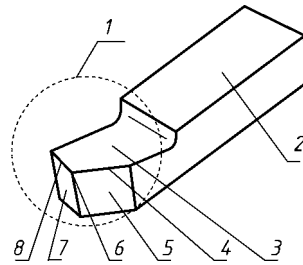


Рис. 11.3. Елементи токарного різця

Робоча частина

Частина 1 різального інструмента, що має різальне лезо.

Кріпильна частина

Частина 2 різального інструмента для його установки і (або) кріплення в технологічному устаткуванні або пристрої.

Різальне лезо

Клиноподібний елемент для проникнення в матеріал заготовки і відділення шару матеріалу.

У робочій частині різця розрізняють наступні елементи (рис. 11.3):

Передня поверхня леза

Поверхня 3 леза інструмента, що контактує в процесі різання з шаром, що зрізається, і стружкою. За стандартом позначається як – A_y .

Задня поверхня леза

Поверхня 5 леза інструмента, що контактує в процесі різання з поверхнями заготовки.

Кромка леза інструмента

Кромка 4, що утворюється перетином передньої 3 і задньої 5 поверхонь леза. За стандартом позначається як – K .

Вершина леза

Ділянка різальної кромки в місці перетину двох задніх поверхонь. За стандартом позначається як – B .

Головна задня поверхня

Поверхня 5 леза інструмента, що примикає до головної різальної кромки 4. За стандартом позначається як – A_α .

Допоміжна задня поверхня

Поверхня 7 леза інструмента, що примикає до допоміжної різальної кромки. За стандартом позначається як – A'_α .

Допоміжна різальна кромка

Кромка 8, що утворена пертинном допоміжної задньої поверхні 7 леза інструмента та передньою поверхнею 3. За стандартом позначається як – K' .

Передня A_γ і задні A'_α та A_α поверхні леза різця можуть бути різним чином орієнтовані щодо один одного, а різальні кромки різно орієнтовані щодо оброблюваної заготовки.

11.2.1 Координатні площини

Різальна частина різця має форму клину загостреного під певними кутами. Для визначення цих кутів встановлено початкові (нормуючі) площини (рис. 11.4).

Площина різання P_r

Площина дотична до поверхні різання та проходить через головну різальну кромку.

Основна площина P_v

Площина перпендикулярна до напрямку вектора різання \vec{V} .

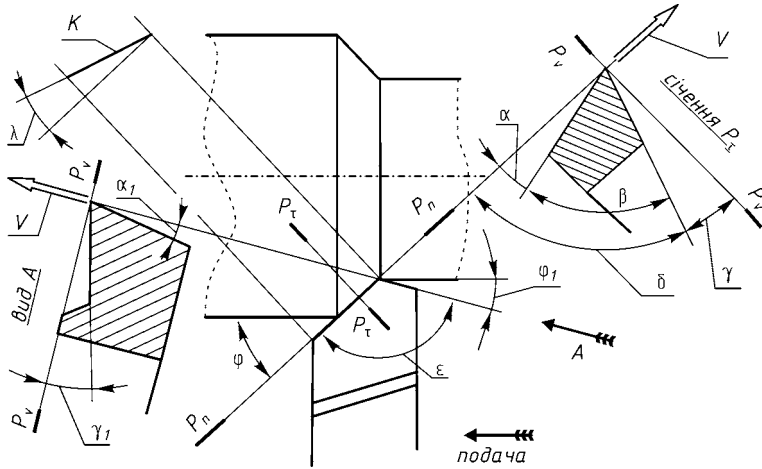


Рис. 11.4. Нормуючі площини та кути різання

У токарних різцях з призматичним тілом за основну площину P_v інколи приймають нижню (опорну) поверхню різця⁴⁴.

Головна січна площина P_t

Площина перпендикулярна до проекції різальної кромки на основну площину P_v .

Головні кути різця вимірюють у головній січній площині P_v , яка є перпендикулярна проекції головної різальної кромки на основну площину P_v . До головних кутів різця відносяться (рис. 11.4):

- головний задній кут α ;
- кут загострення β ;
- головний передній кут γ ;
- і кут різання δ .

Головний задній кут α

Це кут між дотичною до головної задньої поверхні різця в даній точці різальної кромки K і площиною різання P_r .

⁴⁴Насправді це дуже примітивно. Напрямок вектора швидкості різання – різний у кожній точці різальної кромки. Отже, положення основної площини різне для кожної точки різальної кромки.

При плоскій задній поверхні різця можна сказати, що кут α – це кут між головною задньою поверхнею різця A_α і площиною різання P_r . Задні кути зменшують тертя задніх поверхонь інструмента об оброблену поверхню.

Кут загострення β

Це кут між передньою A_γ і головною задньою A_α поверхнями різця.

Головний передній кут γ

Це кут між передньою поверхнею A_γ різального леза і основною площиною P_v .

Головний передній кут γ може бути додатним ($\gamma > 0$), так і від'ємним ($\gamma < 0$). Додатний передній кут застосовують для полегшення процесу різання (стружкоутворення) і вільнішого сходу стружки по передній поверхні.

Проте, на практиці, передній кут $\gamma > 0$ не завжди є кращим, і його доводиться зменшувати, а іноді робити від'ємним (наприклад, під час оброблення надміцних матеріалів).

Кут різання δ

Це кут між передньою поверхнею A_γ різця і площиною різання P_r .

При позитивному значенні переднього кута γ між кутами різального клину існують наступні залежності:

$$\begin{aligned} \alpha + \beta + \gamma &= 90^\circ & \alpha + \beta &= \delta \\ \delta + \gamma &= 90^\circ & \delta &= 90^\circ - \gamma \end{aligned} \quad (11.1)$$

Окрім розглянутих головних кутів, різальне лезо характеризують і інші кути:

- допоміжний задній кут α_1 ;
- кут плані φ ;
- кут нахилу λ головної різальної кромки (рис. 11.5).

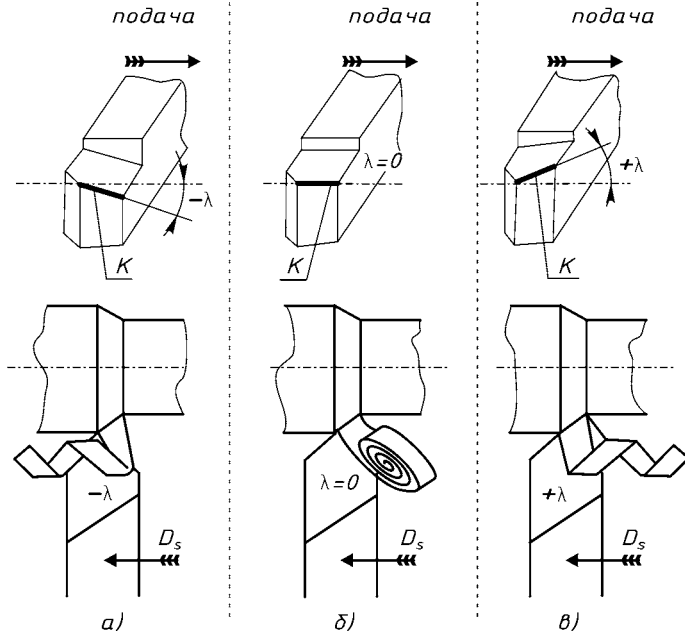


Рис. 11.5. Кути нахилу головної різальної кромки:

- а* – від’ємний, стружка сходить перед різцем на оброблювану поверхню заготовки;
- б* – нульовий, стружка сходить на різець;
- в* – додатній, стружка сходить позаду різця дряпаючи вже оброблену поверхню деталі.

Допоміжний задній кут α_1

Кут між допоміжною задньою поверхнею і площиною, що проходить через допоміжну різальну кромку перпендикулярно до основної площини.

Допоміжний задній кут вимірюють у допоміжній січній площині, перпендикулярній проекції допоміжної різальної кромки на основну площину P_v . У цій же площині розглядають і допоміжний передній кут γ_1 .

Головний кут у плані φ

Кут між проекцією головної різальної кромки на основну площину P_v і напрямом подачі D_s .

Призначення кута φ – збільшити активну довжину різальної кромки та змінити напрям дії зусиль різання на інструмент.

Допоміжний кут у плані φ_1

Кут між проекцією на основну площину P_v допоміжної різальної кромки і напрямом подачі D_s .

Призначення кута φ_1 – виключити тертя на більшій частині допоміжної різальної кромки.

Кут при вершині в плані ϵ

Кут між проекціями на основну площину P_v головної та допоміжної різальних кромки.

Для розглянутих кутів справедлива математична залежність:

$$\varphi + \epsilon + \varphi_1 = 180^\circ. \quad (11.2)$$

Кут нахилу головної різальної кромки λ

Кут між різальною кромкою та основною площиною P_v .

Кут λ нахилу головної різальної кромки вимірюється в площині, що проходить через головну різальну кромку перпендикулярно до основної площини (рис. 11.4 та 11.5).

Кут λ нахилу головної різальної кромки вважається:

- від’ємним, коли вершина різця є найвищою точкою різальної кромки (рис. 11.5,а);
- рівним нулю, коли різальна кромка паралельна основній площині P_v (рис. 11.5,б),
- і додатнім, коли вершина різця є щонайнижчою точкою різальної кромки (рис. 11.5,в).

Кут λ застосовують для зміни напрямку стружки, він впливає на міцність головки різця і різальної кромки.

11.2.2 Статичні кути

Кути різця як геометричного тіла вимірюються в статичній системі координат (рис. 11.6 та 11.7 на с. 160) у припущеннях, що:

- вершина леза знаходиться на рівні центрів верстата,;
- вісь різця перпендикулярна напрямку руху подачі D_s ;
- існує тільки головний рух різання із швидкістю V , відносно якого і орієнтується статична система координат.

Головний передній кут γ

Кут у головній січній площині P_τ між передньою поверхнею A_γ леза і основною площиною P_v .

Головний задній кут α

Кут у головній січній площині P_τ між задньою поверхнею A_α леза і площиною різання P_r .

Кут загострення β

Кут у головній січній площині між передньою A_γ і задньою A_α поверхнями леза.

Головний кут у плані φ

Кут між проєкціями на основну площину P_v головної різальної кромки K і напрямку руху подачі D_s .

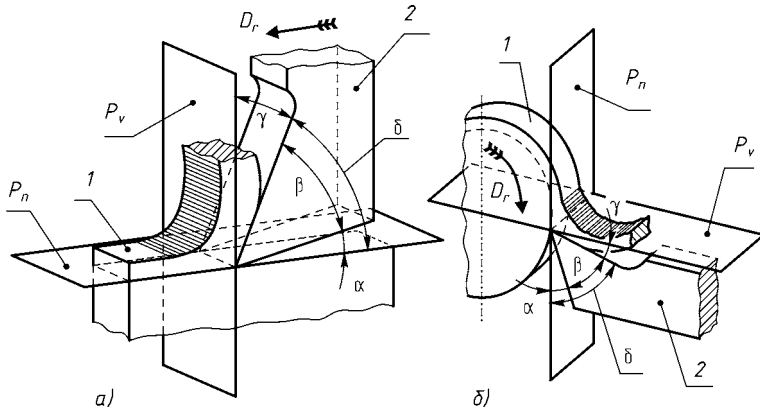


Рис. 11.6. Різання у статичній системі координат:
[За В.А. Кривоуховим]

- a* – операція стругання на стругальному верстаті;
- б* – операція точіння на токарному верстаті;
- 1* – оброблювана поверхня (та, котру обробляють);
- 2* – оброблена поверхня (та, яку обробили);
- P_v – основна площина;
- P_n – площина різання;
- D_r – рух різання;
- α – задній кут леза;
- γ – передній кут леза;
- β – кут загострення леза;
- δ – кут різання.

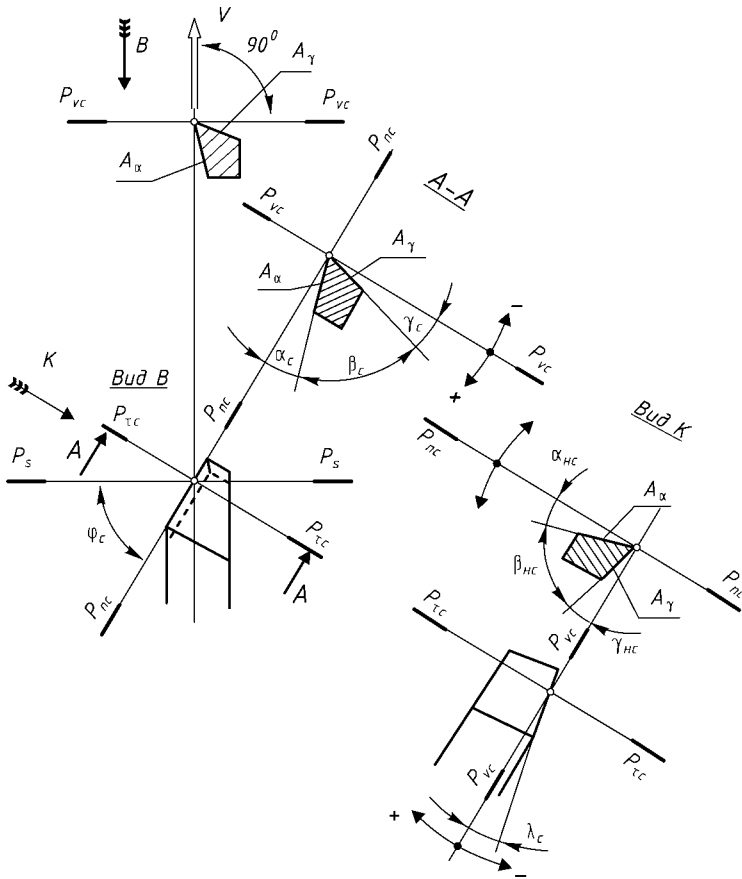


Рис. 11.7. Статична система координат токарного різця
[ДСТУ ГОСТ 25762-83]

- V – вектор швидкості різання;
- P_v – основна площина;
- P_n – площина різання;
- P_τ – головна січна площина;
- α – задній кут леза;
- γ – передній кут леза;
- β – кут загострення леза;
- λ – кут нахилу різальної кромки.

Допоміжний кут у плані φ_1

Кут між проекціями на основну площину P_τ допоміжної різальної кромки K' і напрямом руху подачі D_s .

Кут нахилу головної різальної кромки λ

Кут у площині різання P_r між різальною кромкою K і основною площиною P_v .

Кути різальної частини інструмента, впливають на процес різання. Правильно призначивши кути, можна значно зменшити інтенсивність зносу різальної частини (збільшити стійкість) і обробити в одиницю часу більшу кількість деталей.

Від величини кутів залежить також величина зусиль, що діють при різанні на технологічну систему верстат – пристрій – інструмент – заготовка (ВПІЗ), потрібна потужність верстата і якість обробленої поверхні.

Задній кут

Задній кут служить для зменшення тертя між задньою поверхнею A_α інструмента і поверхнею різання P_r . Із зменшенням тертя зменшується нагрів інструмента, а отже, і його знос з боку задньої поверхні. Проте, якщо задній кут значно збільшений, інструмента стає менш міцним.

При виборі заднього кута доводиться враховувати властивості оброблюваного матеріалу і матеріалу інструмента, а також умови різання. При обробленні м'яких і в'язких металів задній кут інструмента зазвичай приймають більшим, для твердих і крихких металів – меншим.

На практиці величину заднього кута, залежно від типу інструмента та матеріалу деталі, приймають у межах $6...12^\circ$.

Передній кут

Передній кут має велике значення в процесі утворення стружки. Із збільшенням переднього кута:

- полегшується врізання різального леза в метал;
- зменшується деформування зрізаного шару припуску;

- полегшується схід стружки;
- зменшуються сила різання і витрата потужності.

Разом з тим, збільшення переднього кута γ приводить до зменшення кута загострювання β тобто до ослаблення різального клину і зниження його міцності, що викликає збільшення зносу інструмента як внаслідок викришування різальної кромки, так і внаслідок менш інтенсивного відведення тепла від зони різання.

Тому передній кут необхідно призначати враховуючи оброблюваний матеріал:

- у разі оброблення твердих і крихких металів слід застосовувати менші передні кути⁴⁵;
- при обробці м'яких і в'язких металів передні кути мають великі значення.

При обробленні загартованих сталей інструментами, оснащеними пластинами з твердого сплаву, для збільшення міцності різальної кромки, застосовують від'ємні передні кути величиною $-3... -5^\circ$.

Величину переднього кута вибирають залежно від механічних властивостей оброблюваного матеріалу, матеріалу різця і форми передньої поверхні.

Кут нахилу різальної кромки

Кут нахилу λ головної різальної кромки має вплив на напрям сходження зрізаної стружки (рис. 11.8).

Коли кут нахилу головної різальної кромки має додатний знак $\lambda > 0$, стружка сходять у напрямку обробленої поверхні – це погано. Стружка може тертись об оброблену поверхню залишаючи на ній подряпини.

Коли кут нахилу головної різальної кромки має від'ємний знак $\lambda < 0$, стружка сходять у напрямку необробленої поверхні.

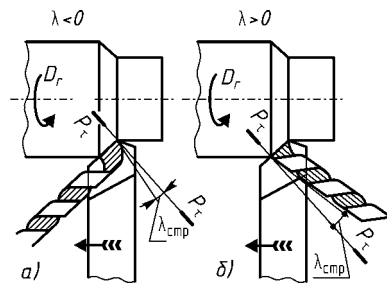


Рис. 11.8. Кут нахилу різальної кромки

⁴⁵З метою підвищення міцності і стійкості інструмента.

Стружка може тертись об необроблену поверхню, але це не має ніякого впливу на якість деталі.

Додатний кут λ служить також для зміцнення різальної кромки, тому при ударних роботах (переривистому різанні) різцями з твердосплавними пластинками, а також при обробленні загартованих матеріалів необхідно кут нахилу різальної кромки λ приймають додатним у межах $5...20^\circ$.

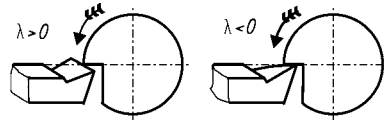


Рис. 11.9. Нахил різальної кромки

У разі додатного значення кута λ (рис. 11.9,а) удар у момент врізування інструмента приходить не на вершину різця, а на міцніше місце різальної кромки, віддалене від вершини.

Кут у плані

Головний

Головний кут у плані ϕ має істотний вплив на стійкість різального інструмента і шорсткість обробленої поверхні.

Із зменшенням кута ϕ збільшується довжина активної частини різальної кромки та одночасно зменшується товщина шару, що зрізається. Це призводить до зменшення термодинамічного навантаження різця. Внаслідок цього зменшується і знос інструмента.

При дуже малому значенні кута ϕ різко зростає віджимання різця від заготовки і спостерігаються вібрації, внаслідок чого погіршується якість обробленої поверхні і збільшується знос інструмента.

Зазвичай кут ϕ вибирають в межах $30...90^\circ$ залежно від виду обробки, типу різця, жорсткості заготовки і інструмента і способу їх кріплення.

Допоміжний

Допоміжний кут у плані ϕ_1 служить для зменшення тертя допоміжної задньої поверхні об оброблену поверхню.

Для отримання більшої стійкості інструмента і зменшення шорсткості обробленої поверхні кут ϕ_1 треба вибирати можливо меншим, враховуючи при цьому умови жорсткості системи: верстат – пристрій – інструмент – заготовка.

11.2.3 Кінематичні кути

Статичні кути не співпадають по абсолютній величині з кутами різання в процесі оброблення (кінематичними кутами). Це пояснюється наступними причинами:

- разом з головним рухом різання одночасно здійснюється рух подачі. Отже, дійсна траєкторія результатного руху не співпадає з траєкторією головного руху;
- кінематична система координат, в якій розглядаються кути різання в процесі оброблення, не співпадає із статичною, оскільки вона орієнтована відносно напрямку швидкості результатного руху ;
- вершина леза в реальному процесі різання може розташовуватися не на рівні осі центрів верстата, а вісь інструмента не завжди перпендикулярна або паралельна напрямку руху подачі.

Розглянемо вплив цих чинників на зміну кутів леза інструмента в процесі різання на прикладі токарного різця.

Нехай різець має лише головний рух різання D_r (рис. 11.10,а). У такому випадку задній статичний кут γ_c дорівнює інструментальному.

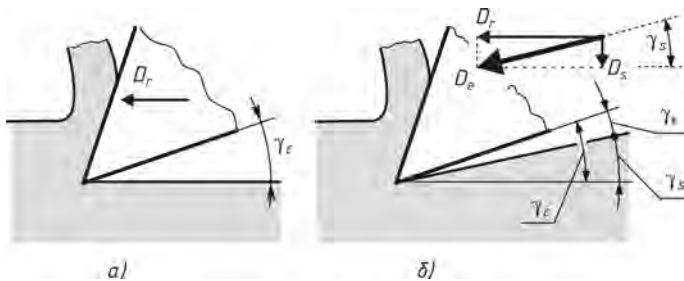


Рис. 11.10. Кінематичні кути токарного різця

Щоб уникнути тертя задньої поверхні різця об заготовку, необхідно враховувати кінематичну складову від руху подачі D_s .

На рис. 11.11 показані всі кути леза різця в процесі різання, тобто в кінематичній системі координат.

Нехай тепер різець одночасно з головним рухом D_r здійснює рух подачі D_s із (11.10,б). В результаті двох рухів і різальне лезо здій-

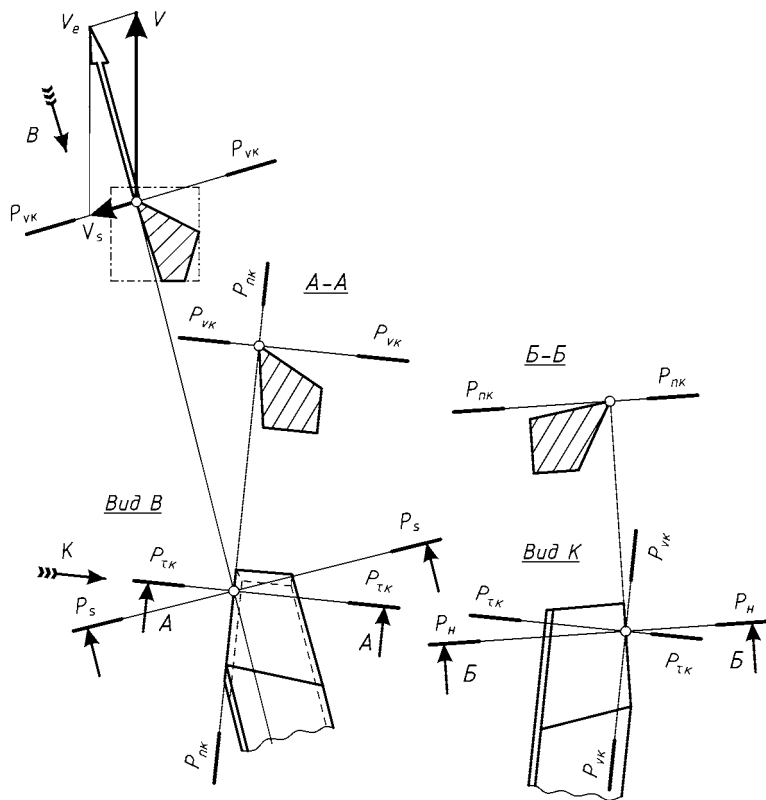


Рис. 11.11. Кінематична система координат

снює шлях за траєкторією результатного руху D_e . Отже, задній кінематичний кут γ_k тепер дорівнює

$$\gamma_k = \gamma_c - \gamma_s \quad (11.3)$$

де γ_s – задній кут утворений рухом подачі.

Отже, із рівняння (11.3) маємо, що на величину кінематичного заднього кута γ_k значний вплив має величина руху подачі D_s .

Розглянемо трансформацію переднього γ і заднього α кутів при подовжньому точінні (рис. 11.12).

За наявності двох рухів:

- обертального руху ω заготовки;
- та поступального руху подачі D_s .

траєкторією руху кожної точки різальної кромки є гвинтова лінія з кроком s (який дорівнює величині подачі), а поверхню різання – гвинтова поверхня.

Таким же чином відбувається і трансформування кутів різання під час врізання інструмента в заготовку.

Як показано на рис. 11.12 статична P_{rc} та кінематична P_{rk} площини різання розташовані під кутом μ одна до одної.

Внаслідок цього задній кінематичний кут α_k зменшується, а передній кінематичний кут γ_k збільшується на величину кута μ . Отже, кінематичні кути можливо визначити як:

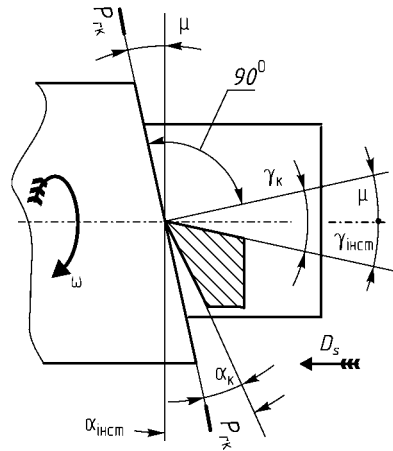


Рис. 11.12. Зміна кутів різання

$$\alpha_k = \alpha - \mu; \quad \gamma_k = \gamma + \mu. \quad (11.4)$$

Величина кута μ визначається як:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{s}{\pi D}. \quad (11.5)$$

Якщо ж напрям руху подачі D_s не співпадає з головною січною площиною P_τ , тоді кут μ_φ у цій площині визначиться за формулою

$$\operatorname{tg} \mu_\varphi = \operatorname{tg} \mu \sin \varphi = \frac{s}{\pi D} \sin \varphi. \quad (11.6)$$

Для звичайних умов обробки різцями ці зміни кутів незначні, і ними можна нехтувати. Так, наприклад, при обробці заготовки діаметром $D = 50$ мм з подачею $s = 1$ мм/об прохідним різцем з кутом у плані $\varphi = 90^\circ$ величина кута μ за формулою (11.5) становить:

$$\operatorname{tg} \mu = \frac{s}{\pi D} = \frac{1}{\pi 50} = 0,00636. \quad (11.7)$$

Звідки маємо $\mu = 22'$.

Але в деяких випадках обробки, наприклад, при нарізуванні різьб з великим кроком, різанні з великою подачею ($s > 5$ мм/об), ці зміни істотніші, і з ними доводиться рахуватись.

При роботі відрізним різцем, встановленим по центру, в результаті поєднання обертального руху ω заготовки і поперечного переміщення різця, траєкторією руху точок різальної кромки є спіраль Архімеда. Тому ближче різальна кромка до центру заготовки, тим крутіше спіраль. Внаслідок цього кінематичний задній кут безперервно зменшуватиметься. Те ж саме спостерігатиметься із збільшенням подачі різця.

11.3 Передні та задні кути

Вплив кутів заточування інструмента на його стійкість встановлений теорією різання. Характер залежності стійкості інструмента від величини переднього γ і заднього α кутів екстремальний, що пов'язане з суперечливим впливом їх значень на температуру в зоні різання.

Із збільшенням кутів γ і α зменшується робота різання та тертя, але погіршується відведення теплоти через зменшення об'єму тіла різального клину. Тому найбільш низька температура різання і найбільш висока стійкість інструмента досягаються при цілком певних значеннях цих кутів, які називаються оптимальними за стійкістю інструмента.

Табл. 11.1. Передні кути при обробленні сталі

Твердість сталевий заготовки	Сталь інструментальна	Твердий сплав	Мінекрало-кераміка
	передні кути інструмента, град.		
$\sigma_B < 600$ МПа	20...25	10...15	10
$\sigma_B = 600 \dots 1000$ МПа	15...20	–5...5	–7
$\sigma_B > 1000$ МПа	10...15	–15... – 5	–15
<i>HRC</i> 20 ... 40	–	–	–20... – 15
<i>HRC</i> 40 ... 60	–	–	
<i>HRC</i> 60 ... 70	–	–	–30

Табл. 11.2. Передні кути при обробленні чавуну

Твердість чавунної заготовки	Сталь інструментальна	Твердий сплав	Мінекрало-кераміка
	передні кути інструмента, град.		
<i>HB</i> < 150	10...15	0...5	0
<i>HB</i> 150...300	5...0	–5...0	–7
<i>HB</i> 400...600	–	–	–20... – 30
<i>HRC</i> 88...90	–	–	

11.3.1 Передній кут

При зменшенні міцності і твердості оброблюваного матеріалу робота різання зменшується, а разом з нею і утворення теплоти. Для її ефективного відведення із зони різання об'єм тіла різального клину може бути меншим. Це додає додаткові можливості пониження температури різання зменшенням утворення теплоти за рахунок збільшення переднього кута γ .

Тому оптимальна за стійкості величина переднього кута залежить, в основному, від властивостей оброблюваного і різального матеріалів. Чим менш міцний і твердий оброблюваний матеріал та чим вище теплопровідність оброблюваного і різального матеріалів, тим більше “оптимальними” за стійкістю можуть бути величини передніх кутів.

У табл. 11.1...11.3 наведено значення передні кутів для різних оброблюваних матеріалів.

Табл. 11.3. Передні кути при обробленні кольорових металів

Матеріал заготовки	Сталь інструментальна	Твердий сплав	Мінекрало-кераміка
	передні кути інструмента, град.		
Мідь та її сплави	10...15	0...5	5
Алюміній	25...30	15...20	15
Плаستي	5...10	0...5	5

11.3.2 Задній кут

Вплив заднього кута на стійкість інструмента сильніший, ніж переднього, і визначається не тільки температурним чинником, але і геометричним.

Із збільшенням заднього кута від α_1 до α_2 (рис. 11.13) збільшується об'єм тіла різального клину, який необхідно стерти (від $\triangle ABC$ до $\triangle ADE$) до настання катастрофічного зносу (граничної ширини h_3 майданчика зносу на задній поверхні). Стійкість інструмента при цьому підвищується.

Отже, у випадках переважного зносу по задній поверхні при достатньо низьких температурах різання (мала товщина зрізу при зливній стружці, оброблення матеріалів, які утворюють стружку надлому) для збільшення стійкості інструмента задній кут доцільно збільшувати.

У зв'язку з викладеним вважають, що оптимальні значення задніх кутів залежать, в основному, від товщини зрізу.

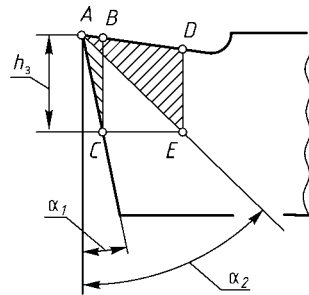


Рис. 11.13. Параметри зносу

Чим тонше зріз,
тим більшим має бути задній кут.

Рекомендовані величини задніх кутів для різних типів інструментів наведено в табл. 11.4.

Табл. 11.4. Рекомендовані величини задніх кутів

Інструмент	Величина заднього кута, град.		
	сталь інструмен- тальна	твердий сплав	мінерало- кераміка
Різці токарні з	8...12	6...8	8...10
Фрези торцеві, кінцеві	20	–	–
Фрези шпонкові	30	–	–
Фасонні різці	8...12	–	–
Довбачі	6...9	–	–
Свердла, зенкери, розвертки	6...8	10...12	–
Протяжки	3...6	–	–

У всіх різальних інструментів з одного і того ж різального матеріалу, які працюють в однакових умовах, оптимальні по стійкості значення передніх і задніх кутів однакові. Це пояснюється тим, що в основі конструкції будь-якого з них лежить практично однаковий різальний клин.

Тільки іноді особливості конструкції і умов роботи деяких інструментів можуть вносити корективи до оптимального ряду значень. Так, при малій товщині зрізу ($a = 0,05...0,1$ мм), властивий розвертуванню, передній кут γ слабо впливає на роботу інструмента. Адже товщина зрізу ($a = 0,05...0,1$ мм) приблизно така сама, як і радіус округлення ($\rho \approx 0,07$ мм) різальної кромки (рис. 11.14).

При великих значеннях задніх кутів швидко наростає радіальний знос різального леза. В результаті інструмент втрачає свої розміри (розмірний знос) і не забезпечує потрібні розміри оброблюваної деталі⁴⁶.

В процесі проектування інструмента передні і задні кути призначають оптимальними за стійкістю, що підвищує його економічність і при необхідності дозволяє за рахунок деякого пониження стійкості підвищити швидкість різання, а значить, і продуктивність обробки.

Проте є ряд обмежень, що не дозволяють забезпечити цю вимогу:

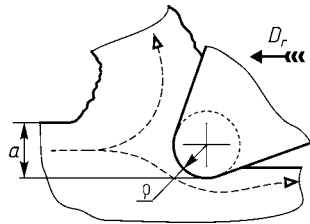


Рис. 11.14. Радіус округлення

⁴⁶Проблема полягає в тому, що інструмент ще може працювати (здійснювати різання), але оброблення деталі необхідно припинити – інструмент не забезпечує необхідні розміри.

- міцність різального клину;
- точність оброблення;
- особливості конструкції інструмента;
- особливості умов роботи інструмента.

За умови міцності передні і задні кути у твердосплавних інструментів менші, ніж у швидкорізальних. Передні кути можуть бути навіть від'ємними, щоб змусити твердий сплав працювати на сти-снення і тим самим підвищити міцність інструмента, що витримує великі статичні і особливо динамічні навантаження. У ще більшій мірі це відноситься до інструментів з кераміки і надтвердих матеріалів.

11.3.3 Узагальнення

У багатьох випадках, коли умови роботи не дуже важкі, задовільні результати досягаються заточуванням на передній поверхні, вздовж різальної кромки, зміцнювальної фаски шириною 1,5...2,0 мм. Але це не завжди доцільно.

Ширина зміцнювальної фаски має бути в межах $1/2 \dots 1/3$ товщини шару, що зрізується. У протилежному випадку інструмент замість прийнятого переднього кута (зазвичай достатнього) отримує від'ємний передній кут, а відповідно і всі проблеми від'ємних кутів⁴⁷.

Отже, при товщині зрізу до 0,1 мм фаску не тільки неможливо виконати, але вона і не ефективна. Тому у таких інструментів, особливо інструментів із надтвердих синтетичних матеріалів, передній кут виконують від'ємним на всій передній поверхні.

Умови роботи інструмента часто не допускають реалізації передніх кутів, оптимальних за стійкістю. Так, сила різання, що впливає на інструмент у бік поверхні різання, при великих передніх кутах і відсутності належної протидії (підтримка інструмента з боку задньої поверхні) затягує різальний клин інструмента в тіло деталі. Оброблена поверхня стає хвилястою.

При малій товщині зрізу, сумірній з радіусом округлення різальної кромки інструмента (рис. 11.14), вплив переднього кута на зусилля і температуру різання незначний. Тому для чистових інструментів, таких, як розвертки та калібрувальних зубів протяжок, передній кут більш 10...15° не рекомендується.

⁴⁷Такими проблемами є: підвищення зусиль різання та температур.

11.4 Кути в плані

Зменшення головного φ і допоміжного φ_1 кутів у плані підвищує стійкість інструмента, оскільки:

- зменшується товщина зрізу;
- поліпшується відведення теплоти в масивніше тіло різального клину;
- знижується температура різання.

Однак при значеннях кутів у плані $5...10^\circ$ стійкість інструментів знижується через значне збільшенням зусиль різання, які “відштовхують” інструмент від оброблюваної деталі і викликають вібрації при недостатньо жорсткій технологічній системі. Саме вібрації є тією причиною, яка викликає різке падіння стійкості при дуже малих кутах в плані, особливо для різців і торцевих фрез.

У багатолезових інструментів, в яких радіальні сили врівноважуються (свердла, зенкери, розвертки, мітчики) – пониження стійкості при малих кутах у плані не спостерігається. Малі величини кутів φ і φ_1 в цьому випадку корисні з точки зору не тільки стійкості інструмента, але і точності обробки та шорсткості оброблених інструментом поверхонь.

У зв'язку з викладеним з метою підвищення стійкості інструментів слід призначити можливо менші значення кутів φ і φ_1 . Проте на шляху реалізації цих рекомендацій існує низка обмежень:

- жорсткість технологічної системи;
- характер виконуваної роботи;
- продуктивність різання;
- міцність інструмента;
- точність обробки.

У разі недостатньої жорсткості технологічної системи в інструментів загального призначення (різці, торцеві фрези), з метою підвищення точності обробки і виключення вібрацій, головний кут у плані φ збільшують аж до 90° .

Токарні різці

З іншої сторони характер роботи виконуваної токарними різцями часто не дозволяє призначити малі кути φ і φ_1 , а саме для:

- токарних різців для подовжного точіння (рис. 11.15);

- токарних різців для копіювальних робіт через неможливість обробки достатньо крутих ділянок профілю деталі;
- токарних прохідних, що забезпечують підрізування буртика в кінці робочого ходу ($\varphi = 90^\circ$);
- різців для обробки глухих отворів впритул ($\varphi = 90^\circ$).

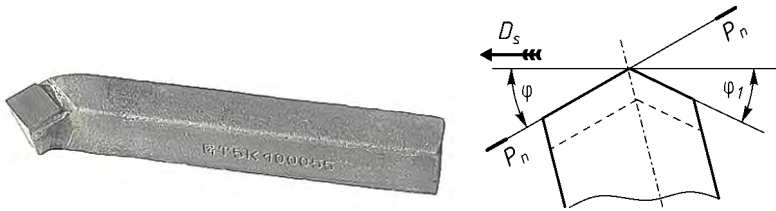


Рис. 11.15. Токарний прохідний різець

Зенкери та розвертки

Продуктивність обробки зенкерами (рис. 11.17) і розвертками (рис. 11.16) знижується із зменшенням кута в плані через збільшення часу врізання на початку роботи. Тому для зенкерів приймають $\varphi = 45...60^\circ$, а для машинних розверток $\varphi = 5...15^\circ$, тоді як у ручних розверток застосовують $\varphi = 1...6^\circ$.



Рис. 11.16. Розвертка

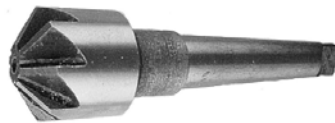


Рис. 11.17. Зенкер

Відрізні різці

Для відрізних (рис. 11.18) та прорізних різців і фрез бокові кути у плані не призначають більше $1,5...2,0^\circ$, оскільки значно знижується міцність тіла таких інструментів.

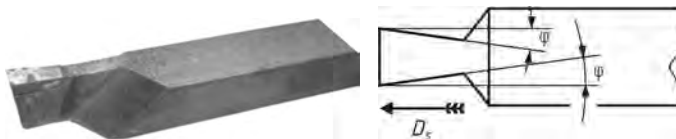


Рис. 11.18. Різець відрізний

Мітчики

Із зменшенням кута ϕ у мітчиків (рис. 11.19) збільшується сумарна ширина зрізу при одночасному зменшенні товщини (площа зрізу залишається незмінною). В результаті зростає крутний момент, що перевершує допустиму за міцністю величину⁴⁸.

Тому для них не можна призначати малі кути ϕ , хоча це підвищує стійкість мітчиків і точність утворення різьб. Головний кут в плані обмежують величиною кута $\phi = 12...15^\circ$.



Рис. 11.19. Заборний конус мітчика

Осьовий інструмент

Точність обробки свердлами, зенкерами, розвертками і мітчиками значно вище при дуже малих значеннях кута $\phi_1 = 2...5'$, оскільки менші значення кута ϕ_1 забезпечують кращий напрям інструментів в роботі (рис. 11.20).

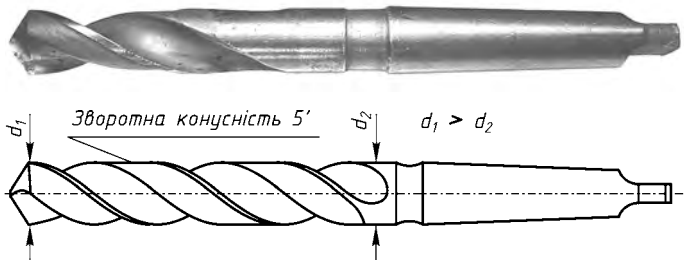


Рис. 11.20. Зворотна конусність свердла

Зауваження. Якщо свердло зробити без зворотної конусності, то його може заклинити в оброблюваному отворі.

Щоб запобігти можливому заклинюванню інструмента (свердла) його виготовляють із гарантованою зворотною конусністю. Отже, у міру переточок діаметр різальної частини свердла дещо зменшується, що необхідно враховувати⁴⁹.

⁴⁸Понад 50% мітчиків діаметром до 12 мм виходять з ладу через поломку.

⁴⁹Насправді це “зменшення” менше ніж розбивка отвору свердлом.

Фрези

Дуже малі значення кутів кута φ у дискових пазових (рис. 11.21) фрез для фрезерування точних пазів використовують щоб не викликати інтенсивної зміни ширини паза при переточуваннях фрези.

Фрези для фрезерування взаємно перпендикулярних поверхонь уступів мають кут у плані $\varphi = 90^\circ$ (рис. 11.24).

Проте, зміна ширини таких фрез після їх переточування дуже мала. Це пояснюється тим, що величина (висота) сточеного зуба дуже мала відносно діаметру інструмента. Зазвичай сточують 1...2 мм при середньому діаметра фрези 75...120 мм.

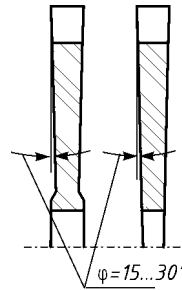


Рис. 11.21. Фреза дискова

11.5 Кут нахилу різальної кромки

Кут λ нахилу головної різальної кромки має найсуттєвіший вплив на процеси різання. Від величини і знаку (положення відносно основної площини P_v) кута λ залежать:

- величина і напрям сил різання;
- робота і температура в зоні різання;
- напрям сходу стружки;
- міцність вершини різального клину,
- рівень коливання сил при переривистому різанні багатолезовими інструментами⁵⁰.

З відхиленням кута λ від нуля кут різального клину у напрямі руху стає меншим, зменшуються сили і робота різання. Активна довжина різальної кромки збільшується, що підвищує стійкість інструмента.

Складний характер впливу кутів λ і ω на процес різання не дозволяє сформулювати просте правило для призначення оптимальних за стійкістю значень λ і ω . Тому практика експлуатації інструмента виробила низку особистих вимог до значень λ і ω , які повинні задовольнятися у викладеній нижче послідовності:

⁵⁰Тобто плавність їх роботи, наприклад, плавність фрезерування.

- необхідні значення головного і допоміжного передніх кутів
- міцність різального клину;
- доцільне направлення стружки із зони різання і стружкових канавок;
- вигідний напрям осьових сил різання;
- плавність роботи.

Для зміцнення найвразливішого місця різального леза – його вершини, при роботі з ударами (точіння переривистих поверхонь або заготовок з нерівномірним припуском, фрезерування торцевими фрезами) в інструментів з крихких інструментальних матеріалів кут λ призначають додатним, щоб відвести удар від вершини леза (рис. 11.22).

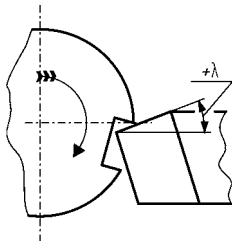


Рис. 11.22. Зміцнення вершини різця

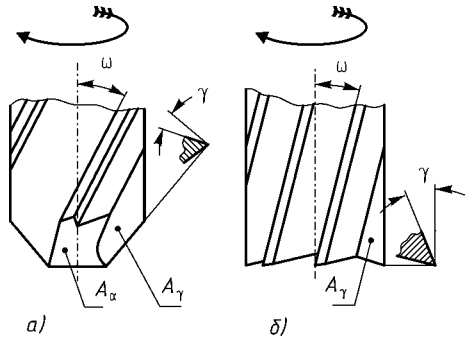


Рис. 11.23. Кут нахилу стружкової канавки

Необхідні значення передніх кутів багатьох інструментів реалізуються належним напрямом стружкових канавок, тобто кутом ω (рис. 11.23).

Наприклад, у свердел, зенкерів, а також кінцевих фрез (які працюють головними і допоміжними різальними кромками), напрям стружкових канавок однойменний з напрямом обертання: праве при правому обертанні і ліве при лівому.

У фрез дискових двосторонніх зуби нахилені під кутом ω , рівним допоміжному передньому куту γ_1 (рис. 11.24,а). Дискові трибічні (тристоронні) фрези виконують з різноспрямованими зубами, щоб забезпечити додатні передні кути на лівій і правій стороні фрези

(рис. 11.24,б). При цьому зуби з від'ємними передніми кутами на торці видаляють.

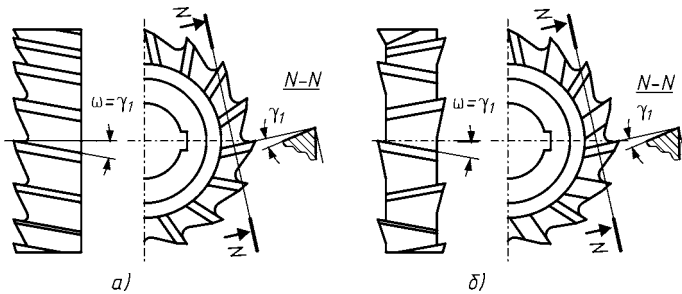


Рис. 11.24. Дисківі фрези:
а – двосторонні; б – тристоронні.

У зуборізних черв'ячних фрез напрям стружкових канавок перпендикулярний до витка черв'ячної нарізки для отримання однакових передніх кутів γ лівої і правої бічних різальних кромки.

У збірних інструментів з багатограними непереточуваними пластинами кут λ нахилу різальної кромки забезпечується нахилом всієї пластини у посадковому пазі.

Напрямок сходу стружки

Загалом стружку необхідно відводити в такому напрямі, щоб вона:

- не псувала оброблену поверхню деталі при чистовій обробці;
- звільняла зону різання для вільного доступу ЗОР;
- не створювала перешкод в роботі механізмів верстата⁵¹;
- не травмувала оператора.

Однак, досить часто задовольнити всі ці вимоги неможливо. Так, при подовжньому точінні найбезпечніше працювати з додатнім кутом λ , коли стружка сходиться у бік задньої бабки токарного верстата (рис. 11.25,а), але в цьому випадку зміцнена стружка може дряпати оброблену поверхню деталі.

⁵¹У разі невеликого напрямку сходу стружки вона намотується на шпindel верстата і травмує робітника.

Крім того, додатний кут λ збільшує радіальну силу різання, і при недостатній жорсткості технологічної системи можуть виникнути вібрації. Тому чистове точіння проводять з нульовим або від'ємним значеннями кута λ , коли стружка відводиться від оброблюваної деталі перпендикулярно різальній кромці (рис. 11.25,б) або у бік передньої бабки (рис. 11.25,в).

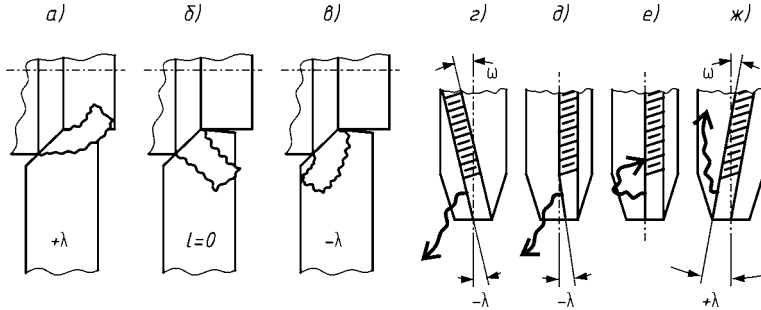


Рис. 11.25. Напрямок сходу стружки

Однйменні з напрямом обертання гвинтові стружкові канавки свердел, зенкерів і мітчиків для нарізування різьб в глухих отворах виводять стружку у бік хвостовика (рис. 11.25,ж).

У мітчиків для наскрізних різьб стружку можна направити вперед, за подачею, заточивши на різальній частині мітчика з прямими стружковими канавками скіс на передній поверхні під кутом $\lambda > 0$ або виконавши гвинтові стружкові канавки в напрямі, зворотному обертанню мітчика (рис. 11.25,г та д).

Проте заходи, що підвищують стійкість мітчиків за рахунок виведення стружки за подачею, знижують точність утворення різьб, що нарізується методом самозатягування. Найбільш висока точність утворення різьб забезпечується мітчиками з гвинтовими стружковими канавками – правими для правої різьби і лівими для лівої різьби з кутом нахилу стружкової канавки $\omega = 30^\circ$.

Вигідний напрям осьових сил різання, якщо немає серйозних обмежень по інших вимогах, – напрям у бік шпинделя верстата, сприяє щільнішій посадці інструмента в гнізді шпинделя. Напрямок стружкових канавок у такому разі повинен бути зворотним напрямку обертання інструмента, що властиве кінцевим фрезам, які працюють тільки периферійними зубами (зубів на торці немає).

Плавність роботи багатолезовими фрезами підвищується зменшенням коливань зусиль різання. Чим більше кут ω нахилу стружкової

Табл. 11.5. Кути нахилу різальних кромок

Інструмент		$\lambda, ^\circ$	$\omega, ^\circ$
Різці	сталеві	–15...5	–
	твердий сплав	15...35	–
Фрези	торцеві	–5...15	25...30
	циліндричні	–	25...60
	дискові	–	15...20
	черв'ячні	–	0...5
Мітчики		9...12	30...60
Свердла		–	0...60
Зенкери		–	10...25
Розвертки		–	0...45

канавки, тим менше коливання зусиль різання. Процес фрезерування кінцевими фрезами протікає найспокійніше, якщо кут ω визначено за формулою

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D K}{B Z} \quad (11.8)$$

де D – діаметр фрези;

K – кількість зубів фрези, що одночасно працюють, зазвичай $K = 2$;

B – ширина фрезерування;

Z – загальна кількість зубів фрези.

У переважній більшості випадків напрям стружкових канавок і величина кутів λ або ω інструмента не можуть одночасно відповідати всім вимогам. Експериментальними дослідженнями та практикою встановлені їх доцільні значення приведені в табл. 11.5.

11.6 Перехідні різальні кромки

Перехідні різальні кромки передбачають у всіх без виключення різальних інструментах. Кращою формою перехідної кромки є дуга радіусом $r = 1...3$ мм (рис. 11.26,а). В цьому випадку менше шорсткість обробленої поверхні. Проте заточування кромки такої форми складне, тому їх оформлюють як прямолінійні завдовжки $f_{\text{зач}} = 1...2$

мм (для свердел $f_{\text{зач}} = 0,2D$) з кутом у плані $\varphi_{\text{зач}} = 0,5\varphi$ (рис. 11.26, б та в).

Навіть у інструментів, по характеру роботи яких перехідні кромки непередбачені (фрези дискові, торцеві з $\varphi = 90^\circ$), їх все одно передбачають завдовжки 0,2...0,3 мм (рис. 11.26, г), оскільки перехідні кромки поліпшують відведення тепла. В результаті стійкість інструмента підвищується:

- для різців до 4 разів;
- для свердел у 3...6 разів;
- для фрез приблизно у 2 рази.

Задній кут у перехідній кромки α_o призначають рівним головному задньому куту α .

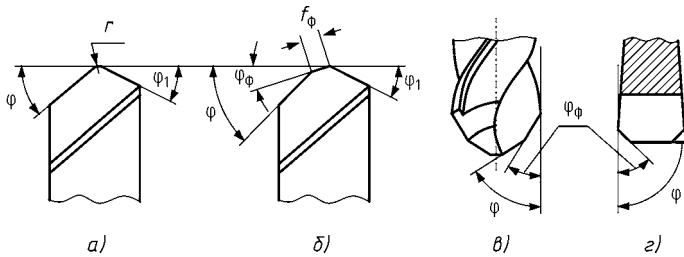


Рис. 11.26. Перехідні різальні кромки

Зачисні різальні кромки утворені паралельно подачі, дозволяють значно зменшити шорсткість обробленої поверхні при роботі з великими подачами, оскільки на обробленій поверхні не залишається залишкового не зрізаного шару. Ці кромки неефективні у разі різання з швидкостями у зоні наростоутворення. Тому їх передбачають у інструментів, що працюють з високими швидкостями різання, коли наріст практично відсутній.

Довжина зачисних кромок $f_{\text{зач}}$ більше подачі s (рис. 11.27):

- для різців $f_{\text{зач}} = (1,2...2,0)s$ за рис. 11.27, а;
- для фрез $f_{\text{зач}} = (1,3...1,5)s$ за рис. 11.27, б.

Збільшена довжина зачисної кромки фрези дозволяє видалити з обробленої поверхні не тільки пилкоподібні залишкові шари (сліди роботи кожного зуба), але і нерівності, які неминуче утворюється через торцеве биття різальних кромок зубів фрези.

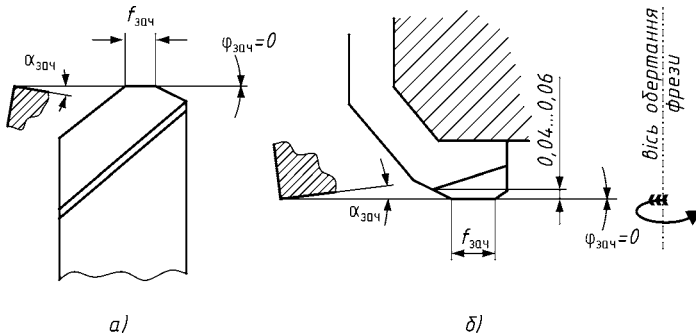


Рис. 11.27. Зачисні різальні кромки

Зачисні кромки на всіх зубах фрези не утворюють, оскільки вони “підчищатимуть” оброблену поверхню з товщиною зрізу до 0,01 мм, що є критичним для різання⁵².

В результаті зачисні кромки великої довжини різатимуть по наклепаному шару, а найчастіше – просто ковзати і тертися по вже обробленій поверхні. Це супроводжується великими осьовими силами, внаслідок чого знижується стійкість фрези.

Тому на торцевих фрезах діаметром до 250 мм роблять один, а на великих – два зачисних зуби. Ці зуби повинні бути найвищими, на 0,04...0,06 мм вище за всіх інших.

⁵²Це дуже мала товщина зрізу, яка не гарантує наявність процесу різання. Скоріш за все такі зубці будять інколи різати, а інколи ні ковзаючи по обробленій поверхні. Результатом такого “ковзання” буде наклеп.

Питання для самоконтролю

1. Основні кінематичні характеристики різання.
2. Основні елементи різального клину.
3. Як розташована основна площа?
4. Як розташована площа різання?
5. Що таке “головна січна площа”?
6. Як визначити кут різання?
7. Вплав кута нахилу різальної кромки на напрям сходу стружки.
8. Як визначають статичні кути різання?
9. Як визначити кінематичні кути різання?
10. У яких випадках застосовують інструментальні кути різання?
11. Орієнтовні величини передніх кутів для оброблення сталі.
12. Чому дорівнюють кути у плані для розверток, зенкерів та від-різних токарних різців?
13. Призначення перехідних різальних кромки.
14. Як впливати на напрям сходу стружки?
15. Як змінюють кут нахилу різальної кромки у мітчиків залежно від глибини оброблюваного отвору?
16. Як визначити знак (додатній/від’ємний) кута нахилу різальної кромки.

12 ДОПУСКИ ВИГОТОВЛЕННЯ

12.1 Токарні різці

Висота

Відхилення вершини різця (різальної кромки) від основи різця не повинно перевищувати:

Торцевий переріз різця,	16×20	16×25	25×40
мм × мм	12×20	20×30	40×60
Допустиме відхилення, мм	-1,5	-2,0	-3,0

Ширина

Відхилення ширини робочої частини відрізних та прорізних різців не повинно бути більшим за $\pm 0,2$ мм.

Довжина

Допустимі відхилення загальної довжини різців не повинні перевищувати:

різці довжиною 100...200 мм	± 3 мм
різці довжиною 250...300 мм	± 4 мм
різці довжиною за 300 мм	± 5 мм

Переріз

Відхилення поперечного перерізу державки не повинно перевищувати встановлених стандартами на відповідних прокат.

Опора

Різець покладений опорною поверхнею на контрольну плиту не повинен качатись. Він має бути нерухомим.

Паралельність

Відхилення від паралельності бокових сторін державки різця не повинно перевищувати 1 мм на 100 мм довжини.

Припій

Шар припою має бути тонким. Розрив шару припою не має перевищувати 20% загальної довжини для різців та 10% для відрізних. Доцільна товщина шару припою має становити 0,1 мм.

Удар

Після удару різцем по металевій плиті різальна пластина не повинна відпадати від державки.

12.2 Свердла

12.2.1 Швидкорізальні

Діаметр

Допустимі відхилення Δ робочого діаметру d мають бути не більші за наведених:

d , мм	1...3	3...6	6...10	10...18	18...30	30...50
Δ , мм	-0,025	-0,03	-0,036	-0,043	-0,052	-0,062

Конусність

Зворотна конусність на 100 мм довжини робочої частини свердла має бути у межах:

діаметр свердла, мм	зворотна конусність, мм
до 6	0,03...0,08
6...18	0,04...0,10
за 18	0,05...0,12

Пряма конусність не допускається.

Серцевина

Серцевина свердла у напрямку до хвостовика повинна мати потовщення на величину 1,4...1,8 мм на кожні 100 мм довжини.

Радіальне виття

Радіальне биття робочої частини свердла відносно осі хвостовика не повинно перевищувати:

Свердла з циліндричним хвостовиком:	Биття, мм
діаметром 3...20 мм	0,08
діаметром 20...50 мм	0,15
Свердла з конічним хвостовиком:	
діаметром 3...20 мм	0,12
діаметром 20...50 мм	0,18

Кутові параметри

Допустиме відхилення кута нахилу стружкової канавки -2° .

Допустиме відхилення кута у плані $\pm 2^\circ$.

12.2.2 Твердосплавні

Діаметр

Допустимі відхилення Δ робочого діаметру d мають бути не більші за наведених:

d , мм	1...3	3...6	6...10	10...18	18...30	30...50
Δ , мм	-0,025	-0,03	-0,036	-0,043	-0,052	-0,062

Конусність

Зворотна конусність на 100 мм довжини робочої частини свердла має бути у межах:

діаметр свердла, мм	зворотна конусність, мм
до 6	0,01...0,03
6...18	0,03...0,05
за 18	0,05...0,08

Серцевина

Серцевина свердла у напрямку до хвостовика повинна мати потовщення на величину 1,4...1,8 мм на кожні 100 мм довжини.

Радіальне виття

Радіальне биття робочої частини свердла відносно осі хвостовика не повинно перевищувати:

Свердла з циліндричним хвостовиком:	Биття, мм
діаметром 3...20 мм	0,08
Свердла з конічним хвостовиком:	
діаметром 3...20 мм	0,12
діаметром 20...50 мм	0,15

Кутові параметри

Допустиме відхилення кута нахилу стружкової канавки -2° .

Допустиме відхилення кута у плані $\pm 2^\circ$.

12.3 Зенкери

Діаметр

Діаметральні розміри зенкерів мають бути у межах наступних допусків:

Діаметр зенкеру, мм	Допуск $\begin{smallmatrix} es \\ ei \end{smallmatrix}$, мм	
	зенкер №1	зенкер №2
12...18	-0.185 -0.220	0.070 0.035
18...30	-0.245 -0.290	0.085 0.040
30...50	-0.290 -0.340	0.100 0.050
50...80	-0.350 -0.410	0.120 0.060
80...120	-0.420 -0.490	0.140 0.070

Конусність

Зворотна конусність на 100 мм довжини робочої частини зенкера має бути у межах:

діаметр зенкера, мм	6...18	18...50
зворотна конусність, мм	0,04...0,08	0,05...0,10

Биття

Биття напрямних стрічок відносно осі хвостовика для насадних зенкерів, визначене у напрямку перпендикулярному до різальної кромки не повинно перевищувати значень:

Діаметр свердла, мм	до 18	18...30	30...50
Биття, мм	0,05	0,06	0,07

Торцеве биття торцевих зенкерів для оброблення прямокутних уступів не повинно перевищувати 0,03 мм.

12.4 Розвертки

Допуски

Допуски на діаметр розвертки з припуском під доводку не повинні перевищувати наступні величини:

Діаметр, мм	Розвертка №1		Розвертка №2		Розвертка №3	
	<i>es</i> , мкм	<i>ei</i> , мкм	<i>es</i> , мкм	<i>ei</i> , мкм	<i>es</i> , мкм	<i>ei</i> , мкм
3...6	17	9	30	22	38	26
6...10	20	11	35	26	46	31
10...18	23	19	40	29	53	35
18...30	30	17	45	32	59	38
30...50	33	17	50	34	68	43
50...80	40	20	55	35	75	45
80...120	46	24	58	36	85	50

Конічні

Для розверток під конічні штифти відхилення від номінального діаметру не повинні перебільшувати наступних значень:

Діаметр розвертки, мм	Допустиме відхилення, мм
0,6...1	– 0,015
1,5...3	– 0,020
4...6	– 0,025
8...10	– 0,030
13...16	– 0,035
20...30	– 0,045
40...50	– 0,050

Конусність

Допустиме відхилення конусності на довжині 100 мм не повинно перевищувати 0,025 мм. Прямая конусність не допускається.

Взаємозамінність

Ножі та деталі збірних розверток повинні бути взаємозамінюваними.

12.5 Фрези гострозаточені

Посадкові отвори

Допустимі відхилення діаметру посадкового отвору фрези не повинні перевищувати наступних значень:

Діаметр отвору, мм	<i>ES</i> , мм	<i>EI</i> , мм
10	0,019	0,000
13	0,019	0,000
16	0,019	0,000
22	0,023	0,000
27	0,023	0,000
32	0,027	0,000
40	0,027	0,000
50	0,027	0,000

12.5.1 Фрези циліндричні

Зовнішній діаметр

Різниця зовнішніх діаметрів у різних січеннях по довжині фрези не повинна перевищувати вказаних значень:

довжина фрези до 50 мм	0,02 мм
довжина фрези більша 50 мм	0,03 мм

Биття

Радіальне биття різальних кромek циліндричних фрез не повинно перевищувати:

діаметр фрези до 75 мм	0,05 мм
діаметр фрези більше 75 мм	0,06 мм

12.5.2 Фрези дискові із вставними ножами

Биття радіальне

Радіальне биття різальних кромek відносно осі посадкового отвору не повинно перевищувати наступних значень:

діаметр фрез до 90 мм	0,10 мм
діаметр фрез 90...150 мм	0,12 мм
діаметр фрез більше 150 мм	0,15 мм

Биття торцеве

Торцеве биття допоміжних різальних кромок не повинно перевищувати:

діаметр фрез до 90 мм	0,04 мм
діаметр фрез 90...150 мм	0,05 мм
діаметр фрез більше 150 мм	0,06 мм

12.5.3 Фрези концеві

Биття радіальне

Радіальне биття різаних кромок відносно осі хвостовика не повинно перевищувати 0,03 мм для двох сусідніх зубів та 0,06 мм для двох протилежних зубів.

Биття торцеве

Торцеве биття різальних кромок не повинно перевищувати:

для фрез діаметром до 16 мм	0,03 мм
для фрез діаметром більше 16 мм	0,04 мм

Конусність

Конусність циліндричної робочої частини фрези не повинна перевищувати 0,02 мм на всю довжину робочої частини. Допускається як пряма, так і зворотна конусність інструмента.

12.5.4 Фрези торцеві

Биття радіальне

Радіальне биття головних різальних кромок не повинно перевищувати значень:

Діаметр, мм	Биття зубів, мм	
	суміжні	протилежні
до 150	0,05	0,08
150...250	0,06	0,10
250...400	0,08	0,12
400...600	0,10	0,15

Биття торцеве

Торцеве биття допоміжних різальних кромок не повинно перевищувати:

Діаметр фрези, мм	Биття, мм
до 150	0,05
150...250	0,06
250...400	0,08
400...600	0,10

12.6 Фрези затиловані**Посадкові отвори**

Допустимі відхилення діаметру посадкового отвору фрези не повинні перевищувати наступних значень:

Діаметр отвору, мм	<i>ES</i> , мм	<i>EI</i> , мм
10	0,019	0,000
13	0,019	0,000
16	0,019	0,000
22	0,023	0,000
27	0,023	0,000
32	0,027	0,000
40	0,027	0,000
50	0,027	0,000

Биття торцеве

Торцеве биття опорних поверхонь на найбільшому діаметрі не повинно перевищувати 0,03 мм.

Биття радіальне

Радіальне биття зубів по фасонному профілю не повинно перевищувати 0,06 мм.

12.7 Мітчики

Забірна частина

Допустимі відхилення довжини заборної частини мітчиків не повинні перевищувати:

для кроку до 3 мм	1 виток
для кроку більше 3 мм	1/2 витка

Кути

Допустиме відхилення переднього та заднього кутів не повинно перевищувати $+3^\circ$.

Ступінь точності

Мітчики можуть виготовлятися наступних ступенів точності:

<i>C</i>	–	прецизійні
<i>D</i>	–	підвищеної точності
<i>K</i>	–	нормальної точності
<i>H</i>	–	чорнові

Биття

Радіальне биття зовнішнього діаметра мітчика не повинно перевищувати:

Діаметр, мм	Забірна частина		Калібрувальна частина	
	ступінь точності			
	<i>C, D</i>	<i>K, H</i>	<i>C, D</i>	<i>K, H</i>
до 25	0,03	0,06	0,02	0,06
більш 25	0,04	0,08	0,03	0,04

Профіль різьби

Відхилення профілю різьби є повинні перевищувати величин допусків на відповідні різьби.

12.8 Плашки

Биття радіальне

Биття зовнішньої циліндричної поверхні по відношенню до осі різьби при перевірці на різьбовій конічній оправці не повинно перевищувати 0,15 мм.

Биття торцеве

Торцеве биття плашки при перевірці на різьбовій конічній оправці не повинно перевищувати 0,25 мм.

Затискні гнізда

Зміщення осі гнізд під затискні та регулювальні гвинти відносно середини плашки не повинні перевищувати:

для плашок товщиною до 18 мм	0,2 мм
для плашок товщиною більше 18 мм	0,25 мм

Профіль різьби

Відхилення профілю різьби не повинні перевищувати величин допусків на відповідні різьби за стандартом.

Питання для самоконтролю

1. Навіщо потрібні допуски на виготовлення інструмента?
2. Орієнтовні відхилення розмірів токарного різця?
3. Яку товщину має мати шар припою на токарному різці?
4. Чи мають свердла потовщення серцевини?
5. Яка величина радіального биття свердла?
6. Яку величину мають допуски на кутові розміри свердла?
7. Чи допускається у свердел пряма конусність і чому?
8. Чому зенкери різного номеру (першого та другого) мають різні допуски на виготовлення?
9. Чому допуски на виготовлення гострозаточених та затилованих фрез є різними?
10. Які ступені точності мають стандартні мітчики?

13 ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ІНСТРУМЕНТА

13.1 Інструментальні матеріали

Вимоги

В даний час простежується тенденція до підвищення ефективності промислового виробництва за рахунок впровадження ресурсоберігаючих технологій. У машинобудуванні одним з напрямів зниження технологічних витрат, є розробка металорізального інструмента, що забезпечує збільшення продуктивності.

За останні роки вимоги до механічної обробки істотно змінилися. Частка важкооброблюваних матеріалів в машинобудуванні, зросла зі 10% до 80%, а це означає, що також збільшилися вимоги до якості і продуктивності обробки. Все це, у свою чергу, обумовлює зростання потреби в сучасному інструменті з покращуваними експлуатаційними характеристиками.

Функції

Різальний інструмент (в тому числі і металорізальний) має виконувати дві основні функції:

- різати, тобто знімати стружку;
- утворювати придатну за якістю оброблюваної поверхні.

Якщо є необхідність вибору різального інструмента, то як основний критерій використовують таку характеристику, як продуктивність⁵³.

Чинники впливу

На продуктивність металорізального інструмента мають вплив наступні чинники:

- матеріал різальної частини;
- конструкція інструмента;
- об'єм і форма стружкових канавок;
- умови подачі і марка ЗОР;
- забезпечення видалення стружки ін.

⁵³Продуктивність, це кількість матеріалу, що зрізається, за одиницю часу

Вибір інструментального матеріалу залежить від призначення інструмента, від оброблюваного матеріалу, від умов різання і ще багатьох чинників. Загалом можливо сформулювати наступні вимоги до інструментальних матеріалів:

- твердість;
- міцність;
- теплостійкість;
- технологічність;
- економічність.

Міцність

Міцність інструментальних матеріалів характеризується межею міцності на вигин і на стиснення, ударною в'язкістю.

Теплостійкість

Теплостійкість характеризується температурою, при якій відбувається істотне зниження стійкості інструмента.

Зносостійкість

Комплексною характеристикою інструментального матеріалу є його зносостійкість, яка визначає здатність збереження різальних властивостей інструмента, із заданою продуктивністю, при забезпеченні точності обробки і якості отримуваної поверхні.

Не слід плутати розмірну стійкість та просту стійкість, яка забезпечує різальні властивості інструмента, але може вже не задовольняти вимогам за якістю або точністю обробки.

Стійкість інструментального матеріалу – це час між переточуваннями і оцінюється в хвилинах.

Зносостійкість визначається, в першу чергу, твердістю інструментального матеріалу, його міцністю і теплостійкістю. На зносостійкість інструментального матеріалу значно впливає також стійкість до термічних ударів, теплопровідність, окислювальна стійкість, а також адгезійні, дифузійні, хімічні властивості і коефіцієнт тертя по відношенню до оброблюваного матеріалу.

Технологічність

Під технологічністю розуміється комплекс властивостей, які характеризують поведінку інструментальних матеріалів при виготовленні з нього різального інструмента.

Наприклад, матеріали, що мають незадовільну шлифуємість, незручні при виготовленні і переточуванні складнопрофільного інструмента, а дуже вузький інтервал гартівних температур матеріалу при термообробці може привести до браку.

Застосування

Для виготовлення оброблювального інструмента в основному застосовують чотири групи інструментальних матеріалів:

- інструментальні сталі;
- тверді сплави;
- надтверді матеріали;
- різальна кераміка.

Кожна група підрозділяється на декілька підгруп. Однак, жоден з цих інструментальних матеріалів не є універсальним і займає свою нішу відповідно до показників в'язкості, міцності, зносостійкості і твердості.

У табл. 13.1 приведені дані з поширення інструментальних матеріалів у світі та в Україні.

Табл. 13.1. Використання інструментальних матеріалів

Інструментальний матеріал	Україна, %	Світ, %
Швидкорізальні сталі	18	11
Тверді сплави	50	56
Ріжучі керамічні матеріали	1	9
Полікристалічні алмази (ПКА)	6	6
Кубічний нітрид бору (КНБ)	6	6
Абразивні матеріали	17	10

13.1.1 Швидкорізальні сталі

Швидкорізальні сталі, це – високолеговані інструментальні сталі високої твердості з карбідним зміцненням і змістом вуглецю понад 0,6%. Підвищення якості швидкорізальних сталей досягається при використанні порошкової металургії (ПМ). Характерними властивостями швидкорізальних сталей, виготовлених методом ПМ, є висока міцність на вигин, в 1,5...2,5 рази вища стійкість в порівнянні з традиційними марками.

13.1.2 Тверді сплави

Тверді сплави – це продукти порошкової металургії, що складаються із зерен карбідів тугоплавких металів (WC, TiC, TaC), що скріплюють в'язкою металевою зв'язкою. Найчастіше як зв'язка використовується кобальт, який відрізняється хорошою здатністю змочувати карбіди вольфраму.

У твердих сплавах, що не мають карбідів вольфраму, як зв'язку використовують нікель з добавками молібдену.

Карбіди вольфраму, титану і танталу мають високу твердість і тугоплавкість. Чим більше у твердому сплаві карбідів, тим вище його твердість і теплостійкість, але нижче механічна міцність. При збільшенні змісту кобальту росте міцність, але твердість і теплостійкість знижуються.

Сучасні тверді сплави можна класифікувати за складом на чотири основні групи:

- ВК – вольфрамо-кобальтові тверді сплави WC-Co;
- ТК – титано-вольфрамо-кобальтові тверді сплави WC-TiC-Co;
- ТТК – титано-тантало-вольфрамо-кобальтові тверді сплави WC-TiC-TaC-Co;
- БВТС – безвольфрамові тверді сплави TiC (TiN) -Ni-Mo.

Зауваження. У закордонній літературі всі тверді сплави, що містять вольфрам, називаються вольфрамовими, а не що містять вольфрам – титановими.

Вольфрамові сплави

Вольфрамові або вольфрамо-кобальтові (ВК) тверді сплави (однокарбідні) складаються з карбіду вольфраму WC і кобальту Co (зв'язки).

Сплави цієї групи розрізняються змістом кобальту (від 3 до 15%), розмірами зерен карбіду вольфраму і технологією виготовлення.

При збільшенні змісту кобальту збільшуються межа міцності твердого сплаву при вигині, ударна в'язкість і пластична деформація, проте, при цьому зменшуються твердість і модуль пружності.

Вольфрамові тверді сплави рекомендуються переважно для обробки матеріалів, що дають при різанні стружку надлому: чавунів, кольорових металів (бронзи, силумінів, дуралюмінів), склопластиків.

Дрібнозернисті⁵⁴ та особливо дрібнозернисті⁵⁵ сплави цієї групи, рекомендуються також для обробки жароміцних і корозійностійких сталей і сплавів.

Значний вплив на фізико-механічні та експлуатаційні властивості твердих сплавів, зокрема, на основі WC-Co, має розмір зерен твердої фази. У сплавах нормальної зернистості середній розмір зерен WC складає 2...3 мкм. При однаковому вмісті кобальту зменшення середнього розміру зерен приводить до збільшення твердості і зносостійкості при незначному зменшенні міцності.

Титанові сплави

Титано-вольфрамові або титано-вольфрамо-кобальтові тверді сплави WC-TiC-Co (двокарбідні) призначені для обробки сталей і кольорових металів (латуні), які дають при різанні зливну стружку.

У порівнянні з твердими сплавами групи ВК на основі WC-Co, вони мають більшу стійкість до окислення, твердість і теплостійкість, менші значення тепло- і електропровідності, модуля пружності.

Карбіди вольфраму і титану (складові основи твердих сплавів) мають високу природну теплостійкість. Теплостійкість сплавів групи ТК складає:

- сплав Т5К10 – 1100°C,
- сплави Т14К8 і Т30К4 – 1150°C.

Цифра, що стоїть після літери К, означає процентний вміст кобальту, цифра за буквою Т – вміст TiC, останнє – WC.

Збільшення в твердому сплаві вмісту карбідів вольфраму і титану (при відповідному зменшенні вмісту кобальту) веде до підвищення теплостійкості твердих сплавів.

Сплави Т30К4 і Т15К6 застосовуються при чистовій і напівчистовій обробці сталей з високими швидкостями різання і малими навантаженнями на інструмент, а сплави Т5К10 і Т5К12 призначені для роботи в тяжких умовах ударних навантажень із зниженою швидкістю різання.

⁵⁴ Мають у позначенні літеру М від російської “мелкозернистый”.

⁵⁵ Мають у позначенні літери ОМ від російського “особо мелкозернистый”.

Титано-танталові сплави

Титано-тантало-вольфрамові або титано-тантало-вольфрамо-кобальтові (ТТК) тверді сплави WC-TiC-TaC-Co (трьох-карбідні) відрізняються підвищеною міцністю і високою твердістю (зокрема при температурах 600...800°C).

У позначеннях сплавів цієї групи цифри, що стоять за літерами ТТ, означають сумарний зміст карбідів титана і танталу, все останнє – вміст карбіду вольфраму WC.

Сплави групи ТТК по вживаності є універсальними і їх можна використовувати як при обробці сталі, так і при обробці чавуну.

Основна галузь застосування трьох-карбідних сплавів – різання з дуже великими перетинами зрізу в умовах точіння і стругання, а також обробка з важкими ударами. У цих випадках підвищена міцність, обумовлена наявністю карбідів танталу, компенсує їх знижену теплостійкість.

У табл. 13.2 наведено порівняння твердих сплавів України та світу⁵⁶.

Табл. 13.2. Марки твердого сплаву

ISO	Україна	ISO	Україна	ISO	Україна
P01	T30K4	M10	TT8K6	K01	BK3
P10	T15K6	M20	TT10K6	K05	BK6M
P20	T14K8	M30	BK10	K10	BK6-OM
P25	TT20K9	M40	TT7K12	K20	BK6
P30	T5K10			K30	BK8
P40	T5K12			K40	BK15
P50	TT7K12				

Галузі застосування

Міжнародна організація стандартів ISO запропонувала систему класифікації твердих сплавів, згідно якої всі тверді сплави діляться

⁵⁶ Наведені позначення марок твердих сплавів, що виготовляються в Україні, відображають хімічний склад даних сплавів. Закордонні фірми, як правило, привласнюють твердим сплавам позначення, що містять інформацію про галузь застосування тієї або іншої марки і ніяких відомостей про хімічний склад. Причина дуже проста – конкуренція.

на групи вживаності залежно від матеріалів, для обробки яких вони призначені. Ця система виділяє:

Р група – обробка матеріалів, що дають зливну стружку.

К група – обробка матеріалів, що дають елементну стружку;

М група – проміжна група сплавів.

Чим більший індекс підгрупи застосування, тим нижче зносо-стійкість твердого сплаву і допустима швидкість різання, але вище міцність (ударна в'язкість), допустима подача і глибина різання.

Таким чином, малі індекси (наприклад, P10) відповідають чистовим операціям, коли від твердих сплавів потрібна висока зносо-стійкість і мала міцність, а великі індекси (наприклад, P40) відповідають чорновим операціям, коли твердий сплав повинен володіти високою міцністю.

Така система, не дивлячись на всю її умовність, зіграла позитивну роль, оскільки виробники інструмента можуть разом з торговою маркою твердого сплаву вказати умовно галузь його застосування, а споживачі – вибирати марку твердого сплаву, найближче відповідну умовам роботи.

Перспективи

Останнім часом перспективним напрямом є створення і використання безвольфрамових твердих сплавів (БВТС). Інтенсивні дослідження в цьому напрямі проводяться у всьому світі. Найбільш розвинене виробництво безвольфрамових твердих сплавів в Японії, США та Німеччині (близько 40% від загального об'єму виготовлення твердих сплавів), .

Безвольфрамові тверді сплави, як і ті що мають вольфрам, є продуктами порошкової металургії, проте як тверда зносо-стійка фаза в них використовуються карбід і карбонад титану, які мають високу твердість та зносо-стійкість. Для покращення їх властивостей до складу вводять молібден і ніобій.

В Україні найбільш перспективними, з погляду практичного застосування, проявили себе безвольфрамові сплави ТН20, КНТ16 і ЛЦК20. Сплав марки ТВ4 на основі карбонітриду титану містить в молібдено-нікелевій зв'язці 8...9% вольфраму для підвищення його міцності і по суті є маловольфрамовим.

Нова група сплавів ЦТУ і НТН30 має підвищену експлуатаційну надійність і розширену галузь застосування за рахунок легування вольфрамом і карбідами титану і ніобію відповідно.

Проблеми. Не дивлячись на економію дорогого вольфраму, безвольфрамові тверді сплави не мають можливості рекомендувати їх, як інструментальні матеріали для автоматизованого виробництва.

13.1.3 Різальна кераміка

Різальна кераміка – це висока твердість і міцність на стиснення, зберігає свої властивості при високих температурах, підвищена зносостійкість і стійкість до окислення, але істотно нижча міцність на вигин в порівнянні з твердими сплавами.

Склад

Різальні керамічні матеріали можна розділити на чотири групи:

- оксидна (біла кераміка) на основі Al_2O_3 ;
- оксидно-карбідна (чорна кераміка) на основі композиції $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiC}$;
- оксидно-нітридна (кортиніт) на основі $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{TiN}$;
- нітридна кераміка на основі Si_3N_4 .

На відміну від швидкорізальних сталей і твердих сплавів маркування різальної кераміки не відображає її склад.

Кожна з цих груп має свої особливості, як в технології виготовлення, так і в галузі застосування, обумовлені, в першу чергу, складом і структурою матеріалу. Зменшення розміру зерна і пористості мінералокераміки приводить до зростання зносостійкості, міцності і твердості матеріалу.

Застосування

Вітчизняними марками оксидної різальної кераміки є ЦМ-332, ВО-13, ВО-18, ВШ-75.

Згідно виробничій практиці оксидну кераміку застосовують переважно при точінні незагартованих конструкційних сталей і ковких чавунів ($\text{HB} < 230$) при швидкостях різання понад 250 м/хв.

Твердість різальної кераміки різних марок складає HRA 93-96, міцність – 400...950 МПа. Такий широкий діапазон основних властивостей визначається різним змістом карбідів і нітриду, а також розміром зерен.

Порівняльні характеристики властивостей карбідів показали, що найбільш перспективним з них є карбід титану, який має високу твердість, зносостійкість, достатню теплопровідність і пружність. Він широко застосовується як основа інструментальних матеріалів. Крім того, він не є дефіцитним.

На підставі вищесказаного карбід титану був вибраний як зміцнювальна добавка до оксиду алюмінію.

Кераміка ВОК-71

Кераміка марки ВОК-71 складається з основи Al_2O_3 з добавкою 20%TiC. За твердістю він не поступається сплаву ВОК-63, а за міцністю його перевершує. При різанні чавуну і сталі різної твердості змішана кераміка ВОК-71 показала перевагу перед іншими марками.

Кераміка ОНТ-20

Паралельно з вдосконаленням оксидно-карбідних керамічних матеріалів розроблялися нові марки різальної кераміки на основі нітриду кремнію. На базі оксидного керамічного матеріалу ВШ-75 розроблено керамічний матеріал ОНТ-20 (кортиніт).

Нітридна різальна кераміка має твердість HRC 86-95, межа міцності на розтягування 600...950 МПа, ударну в'язкість і теплопровідність вище, ніж інші типи кераміки. Перевагою нітридний різальної кераміки є той факт, що при температурі 790...900°C її твердість вища, ніж твердість оксидно-карбідної і оксидною різальної кераміки.

Переважною областю застосування нітридної різальної кераміки є обробка чавунів і жароміцних сплавів. Для обробки сталей ця кераміка не рекомендується через високу інтенсивність дифузійного зносу. Швидкості різання при обробці чавуну досягають 1500 м/хв.

Проводяться роботи із створення композицій нітридної кераміки з карбідами. Наприклад, добавка 20% TiC дозволяє на 50% підвищити ударну в'язкість і твердість, що у свою чергу дає можливість використовувати вищі значення подачі і швидкості різання (до 1800 м/хв). Такі композиції рекомендуються, перш за все, для обробки нікелевих сплавів.

Проблеми

Причинами, що стримують широке застосування кераміки в металообробці, є:

- низька міцність
- значна крихкість
- значна чутливість до локальної напруги і дефектів структури.

Тому основною проблемою при створенні нових керамічних матеріалів є підвищення їх міцності.

Перспективи

Останніми роками велика увага фахівців в області різальної кераміки приділяється розробці армованої кераміки. Як армуючий елемент для кераміки найчастіше використовують ниткоподібні кристали карбіду кремнію SiC (що мають міцність до 4000 МПа) довжиною 20...30 мкм і діаметром до 1 мкм. Наголошується, що подібне армування дозволяє підвищити в'язкість оксидної кераміки в 1,5 рази без істотного зниження твердості.

Армовану кераміку можливо застосовувати при переривистому точінні і фрезеруванні. Однак, оскільки різальний інструмент з армованої кераміки є дорогим, його застосування економічно ефективно тільки в певних областях, наприклад при обробці заготовок з жароміцних нікелевих сплавів, а також загартованих сталей і чавунів.

13.1.4 Надтверді матеріали

Надтверді інструментальні матеріали (НТМ) – це інструментальні матеріали, що мають твердість за Віккерсом при кімнатній температурі понад 35 ГПа. Надтверді матеріали (НТМ), використовувані для оснащення металорізальних інструментів, розділяються на дві основні групи:

- НТМ на основі вуглецю – природні і штучні (полікристалічні) алмази;
- НТМ на основі нітриду бору (композити).

Ці дві групи над твердих матеріалів мають різні галузі застосування, що обумовлене відмінністю їх фізико-механічних властивостей і хімічного складу.

Алмази

Природні алмази мають цілу низку властивостей, необхідних для інструментальних матеріалів.

Твердість природних алмазів вища за твердість будь-якого природного або синтетичного матеріалу. Вони мають низький коефіцієнт тертя, високу теплопровідність. При заточуванні алмазних інструментів забезпечується радіус округлення різальної кромки в межах декількох доль мікрметра, тому можливе отримання практично ідеально гострої різальної кромки, що особливо важливо при прецизійній обробці.

Недоліками природних алмазів є:

- анізотропія механічних параметрів властивостей;
- низька міцність на вигін;
- порівняно низька (700...750°C) теплостійкість;
- хімічна активність до сплавів на основі заліза при підвищених температурах;
- також висока вартість.

Синтетичні алмази для різальних інструментів мають, як правило, полікристалічну структуру. Мікротвердість полікристалічних алмазів в середньому така ж, як природних монокристалів (56...102 ГПа), але діапазон зміни її у синтетичних алмазів ширший.

Застосування

Вказані властивості природних алмазів визначають галузь їх ефективного використання, а саме – прецизійна обробка деталей з кольорових металів і неметалічних матеріалів.

Алмазні інструменти з радіусом округлення різальної кромки 5...6 мкм використовуються для оброблення металевих дзеркал, дисків пам'яті і деталей оптоелектроніки з глибинами різання 12...20 мкм.

Перспективи

Обмежені запаси природних алмазів, а також їх висока вартість викликали потребу розробки технології синтетичних алмазів. Умови отримання синтетичних алмазів полягають в обробці графіту (сажа, деревне вугілля) під тиском 6000 МПа при температурі 2000...3000°C, що забезпечує перебудову структури графіту в структуру алмазу.

Проблеми

Синтетичні і природні алмази не можна протиставляти один одному, вони доповнюють один одного і кожен з них має свої оптимальні галузі застосування. Але і синтетичні і природні алмази не рекомендується застосовувати для обробки матеріалів і сплавів, що містять залізо, що пояснюється великою фізико-хімічною спорідненістю чорних металів і алмазу.

Нітрид бору

Природних з'єднань нітриду бору (BN) не існує⁵⁷. Отримувати штучним шляхом модифікації нітриду бору розрізняються технологією виготовлення, структурою і фізико-механічними властивостями.

Прикладом вітчизняних надтвердих матеріалів на основі нітриду бору є:

- кіборіт – інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля.

Найбільш відомі закордонні матеріали цієї групи:

- композит 01 (ельбор) – Росія;
- композит 02 (белбор) – Білорусія;
- СКИМ-ПК (від російського “сверхтвердый композитный инструментальный материал – поликристал”)
- Wurbon – Німеччина, корпорація SPK-WURBON
- Borazon – USA, компанія General Electric;
- Amborite – корпорація Element Six Abrasives Treasury Limited;
- Sumiboron – міжнародна корпорація SUMITOMO.

Застосування

Надтверді матеріали на основі кубічного нітриду бору (BN) застосовують, в основному, для обробки загартованих сталей (HRC>45) і чавунів (HB>230) з підвищеними швидкостями різання.

Оброблення металів різанням за допомогою кубічного нітриду бору у багатьох випадках ефективніша, ніж абразивне шліфування.

⁵⁷Кубічний нітрид бору був вперше отриманий в 1957 році Робертом Венторфом (Robert H. Wentorf Jr.) для компанії General Electric. У 1969 році компанія зареєструвала торгову марку “Боразон”.

У СРСР кубічний нітрид бору був вперше синтезований в 1960 р. в Інституті фізики високого тиску Академії наук під керівництвом академіка Л. Ф. Верещагіна і отримав назву ельбор (Ленінградський боразон). З 1965 року ельбор синтезувався в промислових масштабах за технологією Абразивного заводу «Ілліч» (Санкт-Петербург).

Перспективи

Таким чином, НТМ представлені двома напрямками: на основі вуглецю і на основі нітриду бору. Твердість полікристалічних алмазів вища, ніж твердість композитів, а теплостійкість в 1,5-3 рази нижче.

Композити практично інертні до сплавів на основі заліза, а алмази проявляють до них значну активність при високих температурах і контактному тиску, що мають місце в зоні різання. Тому різальні інструменти з композитів застосовують головним чином при обробленні сталей і чавунів, а алмазні інструменти – при обробці кольорових металів і сплавів, а також неметалевих матеріалів.

Проблеми

Можливість впровадження надтвердих матеріалів в даний час стримується станом устаткування. Тільки близько 50% існуючих верстатів можуть забезпечити необхідний рівень швидкостей різання, близько 25% верстатів потребують модернізації і близько 25% непридатні для використання інструментів, оснащених надтвердими матеріалами.

З іншого боку можливість реалізації оптимальних для надтвердих матеріалів високих швидкостей різання на новому устаткуванні, яке має необхідні характеристики забезпечує значне підвищення продуктивності металообробки.

13.1.5 Абразиви

Абразивні матеріали – це зерна абразивного матеріалу з гострими кромками які є різальними елементами шліфувальних інструментів. Підрозділяються на природні та штучні.

До природних абразивних матеріалів відносяться такі мінерали, як кварц, наждак, корунд і ін. У промисловості найбільш поширеними є штучні абразивні матеріали: електрокорунди, карбіди кремнію і бору. До штучних абразивних матеріалів відносяться також полірувально-доводочні порошки – оксиди хрому і заліза.

Особливу групу штучних абразивних матеріалів складають синтетичні алмази і кубічний нітрид бор, які є найбільш перспективними, оскільки мають максимальну твердість (алмаз) і термостійкість (КНБ).

13.2 Інноваційний напрям

Перспективною є нанотехнологія у виробництві різальних інструментів. Згідно експертному прогнозу, частка використання нанотехнологій на ринку різальних інструментів для моно-інструментів складає зараз 63%, а для збірних 6%.

Перспективні нанотехнології у виробництві оброблювального інструменту наведено у табл. 13.3

Табл. 13.3. Імовірність розвитку інструментів

Вид інструмента	Імовірність використання, %
Монолітний швидкорізальний інструмент	Нанесення наноструктурних покриттів на різальні поверхні 50%.
	Модифікація поверхневого шару 25%.
	Застосування порошкових матеріалів 25%.
Монолітний твердосплавний інструмент	Нанесення наноструктурних покриттів на різальні поверхні 53%.
	Виробництво інструмента з об'ємних наноструктурних матеріалів 30%.
	Технології синтезу надтвердих матеріалів з нано зв'язками 15%.
	Наномодифікація поверхневого шару 2%.
Збірний і складений твердосплавний інструмент	Нанесення наноструктурних покриттів на різальні поверхні 36%.
	Виробництво інструмента з об'ємних наноструктурних матеріалів 35%.
	Технології синтезу надтвердих матеріалів з нано зв'язками 18%.
	Наномодифікація поверхневого шару 11%.

Зносостійкі покриття

Одним з шляхів підвищення експлуатаційних характеристик твердих сплавів є нанесення на різальну частину інструмента тонких зносостійких покриттів на основі нітриду титану, карбіду титану, нітриду молибдену, окису алюмінію.

Товщина шару покриття, що наноситься, коливається від 0,005 до

0,2 мм. Досліди показують, що тонкі зносостійкі покриття приводять до значного зростання стійкості інструмента.

Більше 80% твердосплавних пластин в світі випускається з різними покриттями. Нанесення покриттів широко застосовується і для швидкорізального інструмента, а останнім часом і для пластин з мінералокераміки.

Для інструментів їх швидкорізальних сталей і твердих сплавів головний ефект від нанесення покриттів полягає в підвищенні твердості контактних майданчиків різального інструмента і зниженні їх адгезійної взаємодії з оброблюваним матеріалом.

Основні переваги інструментів з покриттям:

- підвищення розмірної стійкості ріжучого інструменту, яке веде до істотно економнішого використання інструментальних матеріалів;
- зсув допустимих швидкостей різання для даного інструментального матеріалу в область вищих значень, що забезпечує підвищення продуктивності обробки;
- зниження шорсткості оброблених деталей.

Сьогодні промисловість має достатньо велику кількість методів нанесення зносостійких покриттів, з яких в інструментальному виробництві найширше застосовуються методи:

CVD	хімічне осадження покриттів з газової фази – Chemical Vapour Deposition.
PVD	фізичне осадження покриттів у вакуумі – Physical Vapour Deposition.

CVD покриття

До різновидів методу CVD відносяться:

HT-CVD	високотемпературне осадження покриттів – high-temperature (HT-CVD);
MT-CVD	середньотемпературне осадження покриттів – medium-temperature (MT-CVD);
PA-CVD	осадження покриттів з плазмовим супроводом – plasma assisted (PA- CVD).

PVD покриття

До різновидів методу PVD відносяться:

- електронно-променеве випаровування;
- вакуумно-дугове випаровування;
- магнетронне розпилювання.

Методи CVD і PVD істотно розрізняються:

- за температурами і тиском, при якому вони реалізуються;
- за складом покриттів, що наносяться;
- за галузях застосування.

Властивості покриттів

Переваги

Всі CVD-методи забезпечують рівномірне нанесення покриттів на робочі поверхні інструменту і володіють високою продуктивністю, що робить їх особливо привабливими для масового виробництва.

Проблеми

Істотними недоліками CVD-методів є практична відсутність можливості широкого управління складом, властивостями і структурою формованих покриттів.

Іншим недоліком цих методів до недавнього часу була вибухонебезпека і токсичність використовуваних реагентів. Тому за кордоном були розроблені різні технологічні рішення, що дозволяють здійснювати осадження покриттів без подачі водню.

Багат шарове покриття

В даний час крім традиційно використовуваних одношарових покриттів TiN, TiC і TiCN в промисловості широко використовуються і багат шарові покриття, в яких кожен шар виконує строго регламентовані функції.

Типовим представником таких покриттів є TiC-TiCN-Al₂O₃. Використання бар'єрного (зовнішнього) шару Al₂O₃ стримує дифузійні процеси і служить своєрідним термоізоляційним шаром, знижує схильність інструментального матеріалу до окислення при підвищених температурах різання.

Товщина покриття

Окрім складу покриття, дуже важливою і достатньо суперечливою характеристикою є його товщина. З одного боку, її зростання сприятливо позначається на підвищенні зносостійкості контактних майданчиків інструмента, з іншої – приводить до помітного збільшення кількості дефектів у покритті, зниженню міцності зчеплення покриття з інструментальним матеріалом і зменшенню здатності покриття чинити опір крихкому руйнуванню.

Саме тому при нанесенні покриттів на інструменти, що експлуатуються в умовах переривистого різання (наприклад, при фрезеруванні) коли покриття повинне чинити опір циклічним навантаженням, його товщина, як правило, не перевищує 6...7 мкм, тоді як при точінні цей показник може досягати 15 мкм.

Характеристики сучасних зносостійких покриттів і їх застосування зведені до табл. 13.4.

13.3 Вдосконалення інструмента

За конструкцією всі різальні інструменти можна поділити на:

- цілісні (монолітні);
- складені;
- збірні.

Основні конструктивні елементи будь-якого інструмента – це робоча частина і кріпильна.

За формою кріпильної частини всі інструменти можна розділити на :

- кінцеві (з наявністю хвостовика);
- насадні.

Вдосконалення конструкцій інструментів проводиться і відбуватиметься по багатьом напрямам, основними з яких є наступні.

Модульна конструкція

Застосування інструментів збірних конструкцій, зокрема інструментів, створених з використанням модульного принципу. Найбільш поширеними прикладами модулів є багатогранні твердосплавні і керамічні пластини і пластини, оснащені НТМ, різцеві вставки розточувальних інструментів, мікробори і ін.

Табл. 13.4. Характеристика покриттів

Покриття	Застосування
TiN	Завдяки простій технології отримання і невисокої вартості початкових матеріалів отримало найбільш широке промислове застосування. Володіє твердістю по Віккерсу 22-25 ГПа і коефіцієнтом тертя по сталі 0,55. Застосовуються для всіх видів ріжучих інструментів при різанні конструкційних сталей і сплавів нормальної оброблюваності.
TiCN	Має високу твердість за Віккерсом – до 37 ГПа та низький коефіцієнт тертя по сталі – 0,25, але має відносно невисоку стійкість до окислювального зносу і є достатньо крихким. Застосовується для чистової обробки конструкційних сталей і сплавів нормальної оброблюваності.
(Ti,Al)N	Характерною особливістю є утворення в процесі різання на його поверхні шару Al_2O_3 , що є тепловим бар'єром. Має підвищену стійкість до окислювального зносу, високу твердість за Віккерсом – до 37 ГПа та коефіцієнт тертя по сталі 0,6. Застосовується для операцій з великими термічними навантаженнями при високошвидкісній обробці, різанні матеріалів із зниженою теплопровідністю, а також обробки твердих матеріалів, зокрема без застосування ЗОР.
CRN	Має високу пластичність, гарні трибологічні властивості. Має твердість за Віккерсом не більше 14 ГПа і коефіцієнт тертя по сталі 0,3. Застосовується для зниження налипання матеріалу заготовки на різальний інструмент при обробці м'яких металів – алюмінію, міді і сплавів на їх основі.
MoS ₂	Є трибологічним покриттям, що має достатньо низьку твердість, але має надзвичайно низький коефіцієнт тертя (до 0,05). Застосовується для обробки матеріалів без використання ЗОР, а також для обробки кольорових металів і сплавів.
(Ti,Cr)N	Властивості і області застосування аналогічні покриттю TiN, але є пластичнішим, що робить переважним його застосування для інструментів, що експлуатуються в умовах ударних або циклічних навантажень і великих перетинів шару, що зрізається.

Модулі можуть виготовлятися централізовано із забезпеченням високої точності і якості. Використання готових нормалізованих модулів спростить створення складних і точних інструментів, забезпечить економію матеріалів, спростить регулювання їх виконавчих розмірів і ін.

Багатогранні пластини

Розробка конструкцій інструмента, що передбачають заміну пластин на верстаті, розширення застосування багатогранних непереточуваних пластин (БНП) для нового типу інструментів.

При використанні твердосплавних пластин не потрібне заточування затуплених лез, скорочується час на зміну затупленого елемента. Пластини, що відслужили свій термін можуть бути поновлені, завдяки чому економляться дефіцитні матеріали.

У складених конструкціях інструментів окрім традиційного кріплення різального елемента за допомогою паяння і зварювання набувають поширення клеєні з'єднання.

Відбувається перегляд конструкцій складених, збірних інструментів. Замість розташування пластин по передній поверхні леза, з'явилися конструкції, в яких пластини розташовані по задній поверхні леза. Це змінює характер навантажень і напружень, як в самій пластині, так і у вузлі кріплення, спрощуються і поліпшуються умови кріплення пластин, але у багатолезових інструментів зменшується число зубів. Таке положення пластин почали застосовувати у кінцевих, фасонних і черв'ячних фрез, у деяких типів різців і інших інструментів.

Зміна форми передніх і задніх поверхонь інструментів дозволяє поліпшити умови стружкоутворення, зменшити тертя. Змінюючи тільки форму передньої поверхні при незмінній формі задніх поверхонь інструментів, можна змінити форму різальних кромок і, як наслідок, форму обробленої поверхні деталі. Цей простий технологічний спосіб дозволяє в деяких межах здійснити "гнучкість" конструкції інструмента і може бути використаний для невеликих змін форми різальних кромок фасонних інструментів із затилованими задніми поверхнями.

Перехідні кромки

Все більшого поширення набуває застосування перехідних різальних кромок (фаски, закруглення) в місці переходу головних різальних кромок в допоміжні – у місці найбільшого навантаження і зносу. Перехідні кромки забезпечують підвищення стійкості інструмента, поліпшення якості обробленої поверхні. Раніше їх застосовували у свердел, починають застосовувати у зуборізних інструментах.

Комбіновані інструменти

У корпусах інструментів бажані спеціальні канали для підведення ЗОР безпосередньо в зону різання. Це сприятиме більшому ефекту дії ЗОР, кращому охолодженню леза і відведенню стружки. Такі канали роблять у свердел, але їх слід передбачати і у інших видів інструментів.

Розширюється створення конструкцій комбінованих інструментів як однотипних, так і різнотипних, таких, що забезпечують підвищення точності взаємного розташування оброблених поверхонь, поєднання операцій і переходів, скорочення часу обробки (основного і допоміжного), зменшення кількості необхідних позицій для установки інструментів на автоматизованому устаткуванні. Комбіновані інструменти застосовують для розточування фасонних, ступінчастих отворів, набори фрез – для обробки складних поверхонь.

Різання з деформуванням

Розширюється застосування інструментів для сумісної обробки різанням і деформуванням – інструментів з різальними і деформувальними зубами або ділянками.

Деформувальні ділянки застосовують для підвищення якості і точності обробленої поверхні (пластичного вигладжування). Чергування різальних і вигладжувальних зубів підвищує оброблюваність матеріалу заготовки, що застосовують у протяжок та розверток.

Нетрадиційні методи

Інструменти для вібраційної обробки різанням дозволяють поліпшити стружкоутворення, полегшити процес різання важкооброблюваних матеріалів.

При їх проектуванні необхідно враховувати швидку зміну в процесі обробки положення площини різання і пов'язану з цим зміну значень кінематичних геометричних параметрів, вплив вібрацій на міцність різальних кромок.

Спеціальні протяжні і обкатний інструменти починають використовувати для обробки поверхонь, для яких ці інструменти раніше не застосовувалися або мали обмежене застосування.

Так, протяжки починають застосовувати для обробки поверхонь заготовок типу тіл обертання, зубчатих коліс і ін.

13.4 Проектування інструмента

Існує значна кількість методів проектування різальних інструментів, що дозволяють вирішувати як пряму, так і зворотну задачі формоутворення. Проте ці методи розглядають, в основному, питання геометричного проектування в яких вирішують тільки точність форми номінальної поверхні деталі.

У процесі формування різальний інструмент виконує одночасно дві функції:

- формоутворення та забезпечення необхідних розмірів;
- різання, тобто видалення припуску.

При цьому спроектований інструмент повинен забезпечувати працездатність, яка в загальному випадку залежить від температури в зоні різання і напружено-деформованого стану інструмента в процесі різання.

Форма номінальної поверхні визначається сукупністю головного руху різання і рухів подачі, а також типом і розташуванням різальних елементів, які закріплені на корпусі інструмента.

Розвиток прикладної математики і обчислювальної техніки⁵⁸ визначили потребу в розвитку теорії формоутворення на основі використання сучасного математичного апарату. Результатом стала розробка геометричної теорії формування поверхонь різальними інструментами⁵⁹, в якій обмеженою кількістю (загальних для всіх різальних

⁵⁸ А також розробка нових конструкційних і інструментальних матеріалів, металообробного і контрольного устаткування,

⁵⁹ Лашнев С.И., Борисов А.Н., Емельянов С.Г. Геометрическая теория формирования поверхностей режущими инструментами.: Монография – Курск. гос. техн. ун-т. Курск, 1997. – 391 с

інструментів) параметрів, можна описати всі їх види, типи і конструкції, а також всі можливі способи формоутворення.

Аналіз методів формоутворення показує, що в даний час їх розвиток відбувається в бік ускладнення кінематики процесу формоутворення, що обумовлено кінематичними можливостями новітнього устаткування⁶⁰.

Точність розмірів утворюваної номінальної поверхні деталі визначається настройкою технологічної системи, що включає етапи установки, статичної і динамічної настройки інструмента. При цьому для фасонних різальних інструментів, що вимагають рішення прямої задачі формоутворення, точність спроектованого різального інструмента безпосередньо впливає на точність утвореної номінальної поверхні деталі.

Необхідна точність розмірів цілісних різальних інструментів формується на фінішних операціях при їх виготовленні, і достатньо легко піддається контролю, оскільки контрольований розмір можна виміряти безпосередньо від заданих баз інструмента. При виготовленні збірного інструмента потрібно вирішення просторових розмірних ланцюгів для призначення допусків на елементи корпусу, які використовують для установки змінних багатограних пластин⁶¹.

Однією з основних вимог для створення повнофункціональної системи автоматизованого проектування збірних різальних інструментів є представлення допусків як невід'ємної частини їх математичної моделі. На превеликий жаль сучасні методи проектування різального інструмента ніяк не враховують допуски на його виготовлення. Вважається, що інструмент ідеально твердий та жорсткий, а його розміри відповідають номінальним, що далеко від дійсності.

Отримувана комп'ютерна модель інструмента, повинна враховувати реальну геометрію, яка дозволить здійснити інтеграцію автоматизованих засобів пов'язаних з проектуванням, виготовленням і контролем збірних різальних інструментів.

Традиційні методи розрахунку плоских розмірних ланцюгів передбачають розрахунки допусків на основі їх підсумовування.

Проте допуск на розмір є інтегральним параметром, що обмежує

⁶⁰Емельянов С.Г., Чевычелов С.А., Чистяков П.П. Разработка САПР гиперболических фрез для обработки эвольвентных профилей // Справочник. Инженерный журнал с приложениями. – 2014. – № 4. – С. 42–46.

⁶¹Емельянов С.Г., Мочаев Ю.П., Чевычелов С.А., Бобрышев Д.А. Пространственный размерный анализ с использованием матричного представления графа размерных связей и многопараметрического отображения аффинного пространства // Известия ОрелГТУ. – 2008. – №3-4. – С. 51-55.

відхилення форми, повороту (кута) і відстані, кожне з яких фізично по-різному впливає на формування відхилень розміру замикальної ланки. Відхилення розміру, що проявляється як паралельний зсув однієї базової поверхні відносно іншої, безпосередньо прямим чином впливає на зміну розміру замикальної ланки.

Під просторовим розмірним ланцюгом розуміється сукупність радіус-векторів, що створюють замкнутий контур, де радіус вектори сполучають початки систем координат і геометричних елементів, переміщення і повороти яких безпосередньо беруть участь у вирішенні поставлених завдань⁶².

При розрахунку просторових розмірних ланцюгів, так само як і лінійних, вирішується пряме і зворотне завдання. При рішенні прямої задачі, виходячи зі встановлених вимог до точності початкової ланки, визначають номінальні значення кожного з параметрів, поля допусків, координат середин полів допусків і граничні відхилення по кожному з параметрів кожної ланки.

При рішенні зворотної задачі, виходячи зі встановлених номінальних значень, полів допусків і координат середин допусків, по кожному параметру кожної ланки, визначається номінальне значення, поле допуску, координати середини поля допуску та граничні відхилення по кожному параметру замикаючої ланки.

Проте в роботах з проектування різального інструмента питання розмірної точності не розглядаються взагалі. У геометричній теорії формування поверхонь різальними інструментами замість розмірного аналізу робиться ряд допущень. Оскільки при формуванні поверхонь різальними інструментами неминучі похибки технологічної системи, визначення номінальних значень цих параметрів стає неоднозначним.

При використанні генераторної схеми різання, різальні елементи розташовані дискретно⁶³. Внаслідок цього після видалення припуску на поверхні деталі залишаються нерівності у вигляді гребінців. Також до параметрів поверхневого шару після обробки відносяться ступінь зміцнення, глибина зміцненого шару та характер і розподіл внутрішніх напружень, які визначаються напружено-деформованим і тепловим станом у зоні різання.

⁶²Базров, Б.М. Расчет точности машин на ЭВМ. – Москва.: Машиностроение, 1984. – 296 с.

⁶³При генераторній схемі формування номінальна поверхня деталі утворюється поступово окремими частками (вона генерується). Така схема формування є найпоширеною. Навіть такі технологічні процеси, як точінні та свердлування утворюють поверхню деталі поступово, вони генерують її.

Контакт обробленої поверхні з різальними кромками інструмента відбувається дискретно, тому припуск зрізається різальними кромками не повністю. На утвореній поверхні залишаються нерівності у вигляді гребінців. При проектуванні різальних інструментів зазвичай розраховують теоретичні параметри відхилень отримуваної поверхні від розрахункової, вважаючи матеріал деталі таким, що абсолютно не деформується, технологічну систему абсолютно жорсткою, а поверхні леза абсолютно гладкими. Тому рекомендації за призначенням кутів різання, радіусу скруглення різальних кромок і тому подібне, носять характер загальних рекомендацій, отриманих в результаті експериментальних досліджень і виробничого досвіду⁶⁴.

У той же час в процесі різання на деталі утворюється поверхневий, що має макро- і мікро- відхилення від ідеальної геометричної форми (шорсткості, хвилястості, макровідхилення), а також змінені фізико-хімічні властивості⁶⁵ в порівнянні з властивостями основного матеріалу (ступінь зміцнення, глибина зміцненого шару, епюру внутрішньої залишкової напруги).

Працездатність інструмента визначається складними процесами (що відбуваються стохастично) контактної взаємодії інструментального і оброблюваного матеріалів. Ця взаємодія характеризується значними контактними напруженнями та температурами, що приводять до макро- і мікро- руйнування контактних майданчиків інструмента. Чинники, що впливають на процеси контактної взаємодії, мають значний вплив на працездатність інструмента. До них відносяться умови контакту, режими обробки, конструкторські та геометричні параметри інструмента, властивості оброблюваного і інструментального матеріалів.

Дослідження напружено-деформованого стану інструмента, по суті, є одним з перспективних методів оцінки якості спроектованого інструмента шляхом моделювання його роботи. Результатом такої оцінки повинна стати оптимізація геометричних, конструктивних і технологічних параметрів процесу формоутворення на етапі проектування різального інструмента.

⁶⁴Хандожко А.В., Шешков А.Е. Методология проектирования металлорежущих инструментов с учетом качества обрабатываемых поверхностей деталей // Вестник Брянского государственного технического университета. - 2004. - № 1. - С. 59-67.

⁶⁵Суслов А.Г., Таратынов О.В., Болотина Е.М. Комплексное изучение качества поверхностного слоя деталей машин // Наукоемкие технологии в машиностроении. - 2013. - № 9. - С. 40-43.

Питання для самоконтролю

1. Основні тенденції розвитку та застосування інструментальних матеріалів.
2. Відсоток використання інструментальних матеріалів у світі.
3. Перспективи використання твердого сплаву.
4. Безвольфрамові тверді сплави та галузь їх застосування.
5. Порівняльне маркування твердих сплавів вітчизняного та закордонного виробництва.
6. Перспективи використання різаної кераміки.
7. Надтверді різальні матеріали, їх використання та перспективи.
8. Інноваційні напрями розвитку різального інструмента.
9. Зносостійкі покриття, їх нанесення та використання.
10. загальні напрями вдосконалення інструментів.
11. Навпрямки вдосконалення методів проектування різального інструмента.

Список літератури

1. Быстросменные инструментальные системы для токарних станков с ЧПУ [Електронний ресурс] // Sandvik Coromant. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/>
2. Проблеми механічної обробки. Частина 1 / В. І. Солодкий, В. В. Вовк, О. А. Плівак, С. О. Яцук. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 202 с.
3. Проблеми механічної обробки. Частина 2 / [В. І. Солодкий, О. А. Охріменко, В. А. Пасічник та ін.]. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 220 с.
4. Проектування та технологічне забезпечення інструментальних систем інженерного дизайну / В. І. Солодкий, Ю. І. Адаменко, В. В. Вовк, Н. В. Мініцька. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 225 с.
5. Солодкий В. І. Конспект лекцій для студентів механіко-машинобудівного інституту спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” спеціалізації “Інструментальні системи та формоутворення деталей”. / В. І. Солодкий. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2016. – 307 с.
6. Солодкий В. І. Основи формоутворення поверхонь різанням / В. І. Солодкий, Д. Ю. Красновид, О. А. Підвак. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 440 с.
7. Солодкий В. І. Різальний інструмент: Лабораторний практикум. Частина 1 та 2 / В. І. Солодкий, О. А. Плівак. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 278 с.
8. Справочник инструментальщика-конструктора / [В. И. Климов, А. С. Лернер, М. Д. Пекарский та ін.]. – Урало-Сибирское отделение МАШГИЗ: МАШГИЗ, 1958. – 608 с.
9. Техническое руководство по точению [Електронний ресурс] // Sandvik Coromant. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/>
10. Учебное пособие. Технологий обработки металлов резанием [Електронний ресурс] // Sandvik Coromant. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/>

Електронне мережне навчальне видання

Солодкий Валерій Іванович
Плівак Олександр Анатолійович

ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТА

Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
Київ – 2021 р.